

DIRECTORY
REPERTOIRE



**African wetlands
and shallow water bodies**

**Zones humides
et lacs peu profonds
d'Afrique**

M. J. BURGIS
J. J. SYMOENS



Éditions de l'ORSTOM

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

**African wetlands
and shallow water bodies**

**Zones humides
et lacs peu profonds d'Afrique**

DIRECTORY
REPERTOIRE

African wetlands and shallow water bodies

Zones humides et lacs peu profonds d'Afrique

DIRECTORY REPERTOIRE

Edited by / Publié par les soins de

M. J. BURGIS
J. J. SYMOENS

Éditions de l'ORSTOM

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

Collection **TRAVAUX et DOCUMENTS** n° 211

PARIS 1987

This work was completed with financial assistance of :
Ce travail a pu être réalisé grâce au support financier de :

Council for Scientific and Industrial Research (South Africa)
Fonds de la Recherche Fondamentale Collective (Belgique)
Ministère de l'Environnement (France)
Royal Society (Great Britain)
IUCN and WWF



*Funds and facilities for the preparation of camera ready text were made available
by IUCN and WWF*

L'IUCN et le WWF ont procuré les fonds et les facilités pour la préparation des
manuscripts définitifs

L'ORSTOM en a assuré la publication

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal.

TABLE OF CONTENTS/TABLE DES MATIERES

	Page
<u>Foreword/Avant-propos</u>	11
<u>Introduction</u>	17
<u>List of Contributors to the Directory/ Liste des Auteurs du Répertoire</u>	21
<u>Glossary/Glossaire</u>	25
 REGION 1: AFRIQUE DU NORD COTIERE/COASTAL NORTH AFRICA (Coordinateur/co-ordinator: J. Lemoalle)	35
1.1. Lagunes et marais côtiers du Maroc et de l'Algérie	35
1.1.a. Merja Zerga (lagune de Moulay Bou Selham)	35
1.1.b. Sebkhia Bou Areg (lagune de Nador)	40
1.1.c. Lac Oubeira	45
1.1.d. Lac Tonga (Garaet Mta el Hout)	47
1.1.e. Lac Melah	48
1.1.f. Garaet el Mkhada	49
1.2. Lagunes côtières de Tunisie	51
1.2.a. Lac de Char el Melh	52
1.2.b. Lac Ichkeul	54
1.2.c. Lagune de Monastir	56
1.2.d. Bahiret el Bibane (lagune el Bibane)	58
1.3. Lac de Tunis	61
1.4. Coastal lagoon of Libya and Delta Lakes of Egypt	63
1.4.a. Farwa Lagoon	63
1.4.b. Lake Mariut	65
1.4.c. Nozha Hydrodrome	67
1.4.d. Lake Edku	69
1.4.e. Lake Brollus	69
1.4.f. Lake Manzalah	71
1.5. Eaux intérieures d'Algérie et de Tunisie	74
1.5.a. Chott Zahrez Chergui	74
1.5.b. Sebkhia Kelbia	75
1.6. Lake Qarun	77
 REGION 2: SAHARA (Co-ordinator/coordonateur: H. Dumont)	79
2.1. South Morocco & Zemmur	79
2.1.a. Lower Oued Dra	79
2.1.b. Lower Saquiat el Hamra: springs of Messeit	82
2.1.c. Guelta Zemmur	83

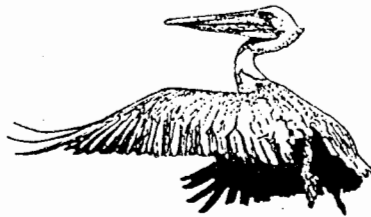
2.2. Western Mauretania	85
2.2.a. Gueltras of Molomhar	87
2.2.b. Terjit	89
2.2.c. El Berbera	90
2.2.d. Gueltet Zli	91
2.2.e. Guelta series of Matmata (Tartega)	91
2.2.f. Guelta series of El Housseinya, Gamra Ouarbi and Lemzailgue	93
2.2.g. Lake le Bheyr (El Beher)	94
2.3. Algerian Sahara	95
2.3.a. Oued Saoura (Western Algeria)	95
2.3.b. Guelta In Ziza	100
2.3.c. Gueltras of Oued Imirhou, including its affluents	101
2.3.d. Gueltras of the Oued Tadjerdjeri	104
2.3.e. Aguelmam Tin Bawendi (Tamadjert)	106
2.3.f. Aguelmam Azar (Assar) at Dider	107
2.3.g. Gueltras of Imlaoulaouene	108
2.3.h. The gueltras of the Atakor	110
2.3.i. The gorge of Arak	113
2.4. Chott el Djerid, Chott el Fedjedj and Chott el Gharsa	114
2.5. Niger: Air and Tenere	118
2.5.a. Baghzan gueltras	118
2.5.b. Timia	120
2.5.c. The Tamgak gueltras	122
2.5.d. Djado, Fachi and the Kaouar Oases	124
2.6. The Libyan desert	126
2.6.a. Ghat region	126
2.6.b. The lakes of Ramlet Dawada	129
2.6.c. Wan en Namus	131
2.6.d. Kufra	132
2.7. Northern Chad	134
2.7.a. Tibesti: gueltras of Totous	134
2.7.b. Mare de Zoui near Bardai	137
2.7.c. Ennedi: gueltras of Archei and Beskere	138
2.7.d. The waters of Borkou	140
2.7.e. Ounianga	142
2.8. The Eastern Sahara	144
2.8.a. The Siwa-Djarabub (Djaghbub) depression	144
2.8.b. Jebel Marra: the Dariba lakes	146
2.8.c. Jebel Marra: the wadis	149
2.9. The Southern Red Sea Hills	150
2.9.a. Erkowit area	150
2.9.b. Khor Arbaat	152

REGION 3: AFRIQUE OCCIDENTALE/WEST AFRICA	155
(Coordinateur/co-ordinator: J.Y. Gac)	
3.1. Lagunes côtières/coastal lagoons	155
3.1.a. Lagunes de Côte d'Ivoire	155
3.1.b. Coastal lagoons of Ghana	177
3.1.c. Lagunes du Togo: le système du lac Togo	182
3.1.d. Le complexe lagunaire du lac Nokoué et de la lagune de Porto-Novo (Bénin)	188
3.1.e. Lagunes du Nigeria	196
3.2. Lac Retba	201
3.3. Lac de Guiers	204
3.4. Lacs du Burkina Faso (Haute-Volta)	211
3.4.a. Lac de Bam	211
3.4.b. L'Oudalan et la mare d'Oursi	213
3.5. Internal Delta of the River Niger	215
3.6. Sierra Leone	224
3.7. Cours inférieur et delta de l'Ouémé (Bénin)	227
3.8. Opi Lake A	230
REGION 4: BASSIN TCHADIEN/CHAD BASIN	233
(Coordinateur/co-ordinator: C. Lévêque)	
4.1. Lac Tchad	233
4.2. Lacs du Kanem	251
4.3. Plaines inondées du Logone	259
4.3.a. Yaérés du Nord-Cameroun	259
4.3.b. Plaine inondée du Ba-Illi	265
4.4. Lacs de la dépression du Mayo Kebi	265
4.4.a. Lacs Toubouris (Fianga, N'Gara, Tikem)	266
4.4.b. Lac de Léré	267
4.5. Plaines inondées du Chari	269
4.5.a. Plaines inondées du Salamat	269
4.5.b. Plaine inondée de Massenya	272
4.6. Plaines inondées de la Komadougou Yobé	274
4.7. Lac Fitri	275
REGION 5: SOUTHERN SUDAN/SOUDAN DU SUD	279
(Co-ordinator/coordonateur: M.J. Burgis)	
5.1. The Sudd	279

5.2.	Lakes No and Ambadi	290
5.2.a.	Lake No	290
5.2.b.	Lake Ambadi	292
5.3.	Lakes Keilack and Kundi	293
5.3.a.	Lake Keilack	293
5.3.b.	Lake Kundi	294
REGION 6: EASTERN AFRICA/AFRIQUE ORIENTALE (Co-ordinator/coordonateur: M.J. Burgis)		297
6.1.	Ethiopie et République de Djibouti	300
6.1.a.	Lac Tana	300
6.1.b.	Les lacs des monts Bale	307
6.1.c.	Les lacs de Bishoftu	310
6.1.d.	Les lacs de l'Afar	312
6.1.e.	Les lacs du Rift éthiopien	318
6.2.	The Gregory Rift and adjacent highlands	331
6.2.a.	Lake Naivasha	331
6.2.b.	Lake Nakuru	340
6.2.c.	Other lakes of the Gregory Rift and Lake Rukwa	348
6.3.	The Central Plateau	359
6.3.a.	Nyanza Gulf	359
6.3.b.	Lake Kyoga and associated lakes	364
6.3.c.	North-Western Catchment of Lake Victoria	371
6.3.d.	Bassin de l'Akagera	375
6.4.	The Western Rift	389
6.4.a.	Lake George	389
6.4.b.	Other shallow lakes in the Western Rift	399
REGION 7: BASSIN DU ZAIRE/ZAIRE BASIN (Coordinateurs/co-ordinators: P. Compère & J.J. Symoens)		401
7.1.	Lac Bangweolo et zones humides associées	404
7.2.	Lac Mweru Wantipa et zones humides associées	412
7.3.	Lac Moero et zones humides du Bas Luapula	418
7.4.	Lac Upemba et zones humides de la dépression du Kamolondo	425
7.5.	Forêts marécageuses et périodiquement inondées de la Cuvette zaïroise	433
7.6.	Lac Tumba	441
7.7.	Lac Mai Ndombe	446
7.8.	Pool Malebo et zones humides associées	451

REGION 8: SOUTHERN AFRICA/AFRIQUE AUSTRALE	457
(Co-ordinator/coordonateur: S. Mephram)	
8.1. Lake Chilwa	457
8.2. Wetlands of Angola	471
8.3. Seasonal and semi-permanent pans	476
8.3.a. Barberspan	479
8.3.b. Etosha pan	482
8.4. The Okavango delta and the Makgadikgadi pans	486
8.4.a. The Okavango delta	487
8.4.b. Lake Ngami	499
8.4.c. The Boteti River	500
8.4.d. The Makgadikgadi pans	500
8.5. Wetlands of the Zambezi Basin and the lowlands of Mozambique	503
8.5.a. The central Barotse floodplain	504
8.5.b. The Kafue flats	508
8.5.c. The Shire swamps	519
8.5.d. The Zambezi floodplain and delta	524
8.5.e. The floodplains of the Pungue and Save Rivers	526
8.5.f. The Limpopo floodplain and delta	526
8.5.g. Lakes and lagoons of the Mozambique lowlands	530
8.6. The Maputaland coastal plain and the Kosi Lake system	530
8.7. The Pongolo River floodplain	539
8.8. Lake Sibaya	548
8.9. The Saint Lucia Lake system	555
8.10. The Wilderness Lakes	563
8.10.a. The Touw River floodplain	565
8.10.b. Swartvlei	572
8.10.c. Groenvlei	575
8.11. Wetlands of the South West Cape	578
8.11.a. Botriviervlei	578
8.11.b. De Hoop Vlei	583
8.11.c. Sandvlei	587
REGION 9: MADAGASCAR	595
(Coordinateur/co-ordinator: J. Moreau)	
9.1. Eaux douces	600
9.1.a. Lac Alaotra	600
9.1.b. Lac Kinkony	606
9.1.c. Lac Ihotry et lac Namonty	610
9.1.d. Lac Itasy	614
9.1.e. Lacs associés aux fleuves Betsiboka et Kamoro	620
9.1.f. Lacs du bassin du fleuve Bemarivo	625

9.1.g. Cours inférieur de la Tsiribihina	626
9.1.h. Cours inférieur des fleuves Soahanina et Manambolo	630
9.1.i. Lacs peu profonds isolés	631
9.2. Les eaux saumâtres	633
9.2.a. Lagunes associées au canal des Pangalanes, de Toamasina (Tamatave) à Andevoranto	633
9.2.b. Lagunes associées au canal des Pangalanes, entre Andevoranto et Faranfangana	641
9.2.c. Lagunes proches de Taolanaro (Fort-Dauphin, Feradofay)	641
9.2.d. Lagunes isolées	646



FOREWORD

The final recommendations of the Workshop on African Limnology held in Nairobi in December 1979, under the auspices of SIL (Societas Internationalis Limnologiae) and UNEP (United Nations Environment Programme), suggested the development of specialised working groups. One such group concerns African shallow lakes and wetlands which have been the subject of numerous studies during the past twenty years.

At the same time, SCOPE (Scientific Committee on Problems of the Environment) organised a working group on wetlands (primarily those of temperate zones) within which ecosystem modelling was emphasised. Later, tropical systems were also included within the objectives of the SCOPE project.

It was in this context that a group of scientists decided to share their experience and knowledge of shallow African systems in order to attempt a synthesis of the available knowledge. This co-operative work resulted in the publication of African Wetlands and Shallow Water Bodies (Zones humides et lacs peu profonds d'Afrique), which is divided into three complementary parts:

1. Bibliography (Bibliographie) - B.R. Davies & F. Gasse, editors;
2. Directory (Répertoire) - M.J. Burgis & J.J. Symoens, editors;
3. Structure, functioning and management (Structure, fonctionnement et aménagement) - C.M. Breen & C. Lévêque, editors.

The Bibliography is the first compilation of the majority of references concerning these systems. It is not strictly limited to limnology but also includes interdisciplinary and other relevant works. Indexes allow the user entrance and insight into the work available on different water bodies and different regions of Africa.

The Directory concisely presents as much information as possible concerning the principal characteristics of climate and geomorphology, structure, functioning and utilisation by man, of those shallow lakes and wetlands which are relatively well known.

The third part attempts to synthesise the main factors governing the structure and functioning of known systems from physical, chemical and biological viewpoints, emphasising their dynamics. Human impacts and utilisation are also discussed and a number of recommendations for management are proposed.

In all three parts the systems considered are diverse: shallow lakes, swamps, floodplains, coastal lagoons, permanent or temporary pans, etc. The following have been excluded:

- estuarine and mangrove areas;
- artificial systems such as man-made lakes and rice paddies;
- the deep, great lakes of the Rift Valley: lakes Mobutu Sese Seko (Albert), Idi Amin Dada (Edward), Kivu, Tanganyika and Malawi/Niassa; also lakes Victoria and Turkana (Rudolf).

The general objectives of the project were defined at meetings held at

Rhodes University, Grahamstown (July 1980) and in Paris (January 1981) with the following participants: P.J. Ashton, NIWR, Pretoria; M.N. Bruton, JLB Smith Institute of Ichthyology, Grahamstown; G.G. Catto, CSP, CSIR, Pretoria; F.M. Chutter, NIWR, Pretoria; J. Daget, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris; B.R. Davies, University of Cape Town; H.J. Dumont, Rijksuniversiteit Gent; F. Gasse, Ecole Normale Supérieure, Fontenay-aux-Roses; C. Lévêque, ORSTOM, Paris; C.H.D. Magadza, University of Zimbabwe, Harare; K.R.M. Mavuti, Nairobi University; R.G. Noble, CSP, CSIR, Pretoria; J. Quensière, ORSTOM, Paris; K.H. Rogers, University of the Witwatersrand, Johannesburg; and J.A. Thornton, NIWR, Pretoria.

The project was formally defined during a workshop meeting at Thonon-les-Bains (January 1982), where an executive committee was proposed comprising: C. Lévêque (Chairman); C.M. Breen, University of Natal, Pietermaritzburg; M.J. Burgis, City of London Polytechnic; B.R. Davies; H.J. Dumont; F. Gasse; C. Howard-Williams, DSIRO, Taupo, New Zealand; J. Lemoalle, ORSTOM, Tunis; and J.J. Symoens, Vrije Universiteit Brussel. P. Dufour, ORSTOM, Thonon-les-Bains, and A. el Moghraby, University of Khartoum, also participated in the Thonon meeting.

The work has progressed during workshop meetings in Tunis (January 1983), at Durban and St Lucia, Natal (July 1983) and in London (December 1983). In addition to the Executive Committee members, R.G. Bailey, University of London; P. Compère, Jardin Botanique National, Meise; P. Denny, University of London; J.Y. Gac, ORSTOM, Dakar; J. Green, University of London; S.E. Jorgensen, Copenhagen; H. Löffler, Universität Wien; J. Moreau, Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Toulouse; B. Patten, University College of Georgia, Athens and J. Talling, Freshwater Biological Association, Ambleside, also attended at various times and contributed to the work.

These three volumes on African Wetlands and Shallow Water Bodies interlink with many other general works, completed or in progress, which cover various aspects of African Limnology, all of which were initiated at the Nairobi meeting:

A Bibliography of African Inland Water Invertebrates (to 1980). B.R. Davies, T. Davies, T. Frazer & F.M. Chutter; South African National Scientific Programmes, Report Number 58 (1982) 418 pp.

Checklist of the Freshwater Fishes of Africa (CLOFFA). J. Daget, J.P. Gosse & D. Thys van den Audenaerde (Eds). MRAC-ORSTOM, 1984 (vol. 1), 1985 (vol. 2)

The Ecology and Management of African Wetland Vegetation. P. Denny (Ed) Ser. Geobotany 6. Dr. W. Junk, The Hague (1985)

Biology and Ecology of African Freshwater Fishes. C. Lévêque, M.N. Bruton & G. Ssentongo (Eds)

The work on African wetlands and shallow water bodies was completed with the financial assistance of several countries. We have to thank in particular the Council for Scientific and Industrial Research (South Africa), le Fonds national de la Recherche fondamentale collective - contrat No. 2.0033.82 (Belgium), the Royal Society (Great Britain) and le

Ministère de l'environnement et du cadre de vie (France), funds from whom allowed us to complete this work. Funds and facilities for the preparation of camera ready text were made available by the International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN) and the World Wild Fund for Nature (WWF), Gland, Switzerland, and we gratefully acknowledge their support. We also thank ORSTOM for publishing this work and warmly thank all scientists who participated in the development of the project and who have given a great deal of time, as well as the institutions to whom they are affiliated. It is only thanks to the converging efforts of many individuals that this project has been completed.

AVANT-PROPOS

Dans les recommandations finales de la Réunion sur la limnologie africaine (Workshop on African Limnology) tenue à Nairobi en décembre 1979 sous l'égide de la SIL (Societas Internationalis Limnologiae) et du PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement), les scientifiques présents ont reconnu la nécessité de poursuivre leurs discussions au sein de groupes de travail spécialisés. L'un de ces groupes de travail concernait plus particulièrement les lacs peu profonds et les milieux humides africains qui ont fait l'objet de nombreux travaux au cours des vingt dernières années.

A la même époque, le SCOPE (Scientific Committee on Problems of the Environment) a organisé un groupe de travail sur les milieux humides (principalement ceux des zones tempérées), en mettant l'accent sur la modélisation des écosystèmes. Par la suite, les milieux tropicaux ont également été inclus dans les préoccupations du SCOPE.

C'est dans ce contexte qu'un certain nombre de scientifiques ont été amenés à confronter leur expérience des milieux aquatiques peu profonds d'Afrique en vue de synthétiser les connaissances dans ce domaine. Ce travail commun a conduit à la publication d'un ouvrage Zones humides et lacs peu profonds d'Afrique (African Wetlands and Shallow Water Bodies) divisé en trois parties complémentaires:

1. Bibliographie (Bibliography) - B.R. Davies & F. Gasse, rédacteurs;
2. Répertoire (Directory) - M.J. Burgis & J.J. Symoens, rédacteurs;
3. Structure, fonctionnement et aménagement (Structure, functioning and management) - C.M. Breen & C. Lévêque, rédacteurs.

La bibliographie rassemble pour la première fois la majorité des références sur les milieux considérés. Elle ne se limite pas strictement aux références limnologiques mais elle inclut aussi quelques travaux réalisés dans d'autres disciplines pouvant présenter un intérêt pour les limnologues africains. Des index permettent aux lecteurs de se rendre compte rapidement de l'état d'avancement des recherches sur différents milieux aquatiques et dans différentes régions d'Afriques.

Le Répertoire présente sous une forme condensée le maximum d'informations possible sur les principales caractéristiques climatiques et

géomorphologiques, la structure, le fonctionnement et l'utilisation par l'homme des lacs peu profonds et milieux humides d'Afrique relativement bien connus.

Dans la troisième partie, nous recherchons les principaux facteurs qui gouvernent la structure et le fonctionnement des milieux étudiés, au point de vue physique, chimique et biologique, en insistant sur les aspects dynamiques. Nous discutons également de l'influence et de l'utilisation de ces écosystèmes, et proposons un certain nombre de recommandations pour les aménagistes.

Les milieux considérés dans les trois parties sont relativement variés: lacs peu profonds, marais, plaines inondées, lagunes côtières, mares permanentes ou temporaires, etc. Les milieux ci-après ont été exclus:

- les zones d'estuaires et de mangroves;
- les milieux artificiels (lacs de barrage, rizières, etc.);
- les grands lacs profonds du grand graben: lacs Mobutu Sese Seko (Albert), Idi Amin Dada (Edouard), Kivu, Tanganyika, Malawi/Niassa; également les lacs Victoria et Turkana (Rudolf).

Les objectifs généraux du projet ont été définis lors de réunions tenues à Rhodes University, Grahamstown (juillet 1980) et à Paris (janvier 1981), auxquelles ont participé: P.J. Ashton, NIWR, Pretoria; M.N. Bruton, JLB Smith Institute of Ichthyology, Grahamstown; G.G. Catto, CSP, CSIR, Pretoria; F.M. Chutter, NIWR, Pretoria; J. Daget, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris; B.R. Davies, University of Cape Town; H.J. Dumont, Rijksuniversiteit Gent; F. Gasse, Ecole Normale Supérieure, Fontenay-aux-Roses; C. Lévêque, ORSTOM, Paris; C.H.D. Magadza, University of Zimbabwe, Harare; K.R.M. Mavuti, Nairobi University; R.G. Noble, CSP, CSIR, Pretoria; J. Quensièrre, ORSTOM, Paris; K.H. Rogers, University of the Witwatersrand, Johannesburg; et J.A. Thornton, NIWR, Pretoria.

Le projet a été définitivement formalisé au cours de la réunion de Thonon-les-Bains (janvier 1983), où un comité exécutif a été proposé, composé de: C. Lévêque (président); C.M. Breen, University of Natal, Pietermaritzburg; M.J. Burgis, City of London Polytechnic; B.R. Davies; H.J. Dumont; F. Gasse; C. Howard-Williams, DSIRO, Taupo, New Zealand; J. Lemoalle, ORSTOM, Tunis; et J.J. Symoens, Vrije Universiteit Brussel. P. Dufour, ORSTOM, Thonon-les-Bains, et A. el Moghraby, University of Khartoum, ont également participé à cette réunion.

Enfin le travail a pu être mené à bien lors des réunions de travail de Tunis (janvier 1983), Durban et St Lucia, Natal (juillet 1983) et Londres (décembre 1983). Outre les membres du comité exécutif, les participants à ces réunions ont été R.G. Bailey, University of London; P. Compère, Jardin Botanique National, Meise; P. Denny, University of London; J.Y. Gac, ORSTOM, Dakar; J. Green, University of London; S.E. Jorgensen, Copenhagen; H. Löffler, Universität Wien; J. Moreau, Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Toulouse; B. Patten, University College of Georgia, Athens; et J. Talling, Freshwater Biological Association, Ambleside.

Ces trois volumes sur les lacs peu profonds et les milieux humides africains s'insèrent parmi d'autres travaux généraux concernant la

limnologie africaine achevés ou en cours, et qui avaient été suggérés dans les recommandations de la réunion de Nairobi:

A Bibliography of African Inland Water Invertebrates (to 1980). B.R. Davies, T. Davies, T. Frazer & F.M. Chutter; South African National Scientific Programmes, Report Number 58 (1982) 418 pp.

Checklist of the Freshwater Fishes of Africa (CLOFFA). J. Daget, J.P. Gosse & D. Thys van den Audenaerde (Eds). MRAC-ORSTOM, 1984 (vol. 1), 1985 (vol. 2)

The Ecology and Management of African Wetland Vegetation. P. Denny (Ed) Ser. Geobotany 6. Dr. W. Junk, The Hague (1985)

Biology and Ecology of African Freshwater Fishes. C. Lévêque, M.N. Bruton & G. Ssentongo (Eds)

Le travail sur les zones humides et les lacs peu profonds d'Afrique a pu être réalisé grâce à des financements nationaux. Nous tenons à remercier plus particulièrement le Council for Scientific and Industrial Research (Afrique du Sud), le Fonds national de la Recherche fondamentale collective - contrat No. 2.0033.82 (Belgique), la Royal Society (Grand Bretagne) et le Ministère de l'environnement et du cadre de vie (France), dont les aides nous ont permis de mener à bien ce travail. L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) et le Fonds mondial pour la nature (WWF), Gland, Suisse, ont procuré les fonds et les facilités pour la préparation des manuscrits définitifs destinés à l'impression. Nous leur exprimons toute notre gratitude ainsi qu'à l'ORSTOM qui a accepté de publier ce travail. Nous remercions chaleureusement tous les scientifiques qui ont participé au développement du projet en y consacrant beaucoup de leur temps, ainsi que les organismes dans lesquels ils travaillent. C'est grâce à cet effort collectif que ce projet a pu être mené à bien.

Au nom du Comité exécutif du projet

Christian Lévêque
Président
Office de la Recherche Scientifique
et Technique Outre-Mer
213, rue La Fayette, Paris 75480

INTRODUCTION

This Directory is an attempt to summarize the state of our knowledge for the majority of the wetlands and shallow water bodies in Africa.

The Directory is divided into the same nine regional sections (see map) as the Bibliography which, as mentioned in the Foreword, forms volume 1 of this inter-dependent trilogy. These regions and their subdivisions are treated in the same order and have the same numbers as in the Bibliography. In this volume, the principal sources of information are cited by author and date of publication only: for the full references users must consult the Bibliography.

The boundaries between regions and sub-regions have been chosen on the bases of hydrography and convenience for contributors. Where maps indicate international boundaries, this is for information only and does not imply any opinion on the part of the contributors or the editors.

The co-ordinators and authors of each section all have first-hand experience of their area although they may not be familiar with every aquatic system therein. Which systems to include has been their decision, after discussions with the whole project group and the editors. Inevitably the types of water bodies treated are extremely varied both within and between regions. In Region 2, the Sahara, every drop of water is significant so many very small aquatic systems are treated while in other regions such as 6, Eastern Africa, and 7, the Zaire Basin, due to limitations of space, only a number of the major wetlands and shallow water bodies are selected. We have tried to ensure that all the most significant systems have been covered. Significance may be consequent on size, economic or conservation importance, or because the system has been well studied.

The language in which each contribution was written has mostly been retained for publication in this Directory. It corresponds by and large with the European language most widely used or known in the relevant territory with, however, a few exceptions: Region 2, Sahara, is entirely written in English; in Region 3, West Africa, the coastal lagoons of Nigeria are described in French and the East of Region 7, Zaire Basin, comprising Lake Bangweulu and Mweru Wantipa are also treated in French.

In order to summarize the climate of each area the editors recommended the use of diagrams drawn according to the excellent system of Walter and Lieth (1960-1967) whose Atlas provides one of the best representations of the climate in all regions of Africa.

The other information on each system covers as many aspects as possible but, inevitably, has a bias towards aquatic biology, because of the authors' specializations. Nevertheless, due to lack of space, no checklists of organisms are included; only the dominant or particularly interesting species are named.

In reporting aspects of human use and management of these systems we have confined ourselves to facts and no opinions are implied or intended.

In spite of its deficiencies, we hope that this Directory, and its

complementary volumes, will be of use not only to those involved in research but also to those concerned with all forms of exploitation, management and conservation anywhere in the catchment areas of the aquatic ecosystems treated here.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are particularly indebted to our respective institutions, our funding agencies, the Royal Society, London, and the "Fonds national de la Recherche fondamentale collective" - Contract No. 2.0033.82, Belgium, and to the regional co-ordinators who have assembled the very extensive and detailed information included in this volume. We are also grateful to all those who have contributed personal information, made publications or other documents available and read portions of the contributions. Although we have made every effort to ensure the accuracy of all the information given, errors will inevitably remain for which we must apologise.

Mary J. Burgis, City of London Polytechnic
Jean-Jacques Symoens, Vrije Universiteit Brussel

INTRODUCTION

Le présent Répertoire a été rédigé en vue de donner un résumé de l'état de nos connaissances sur la plupart des zones humides et lacs peu profonds d'Afrique.

Ce Répertoire comporte les neuf sections régionales, également traitées dans la Bibliographie qui, ainsi qu'il est mentionné dans l'avant-propos, constitue le volume I d'un triptyque aux volets étroitement interdépendants. Ces régions et leurs subdivisions sont traitées dans le même ordre et numérotées de la même manière que dans la Bibliographie. Dans le présent volume, les principales sources d'information sont citées de façon brève par la seule mention du nom de leur auteur et de la date de publication: le lecteur désireux d'en trouver les références complètes voudra bien consulter la Bibliographie.

Les limites entre régions et sous-régions ont été choisies sur la base de l'hydrographie ou simplement en fonction des collaborations possibles. Lorsque nos cartes portent des frontières internationales, celles-ci sont données à titre de simple information et leur tracé n'implique aucune opinion à leur sujet de la part des auteurs ou des rédacteurs.

Les coordonnateurs et les auteurs de chaque section ont une expérience personnelle de la région qu'ils ont traitée, sans toutefois avoir eu nécessairement l'occasion de se familiariser avec chacune des zones humides ou des lacs qu'elle comporte. Le choix des zones ou lacs décrits a été fait par eux, après discussion avec l'ensemble du groupe responsable du projet et les rédacteurs. En fait, les types de zones humides traités sont extrêmement divers, tant au sein d'une même région

que d'une région à l'autre. Dans la Région 2, le Sahara, chaque goutte d'eau est à ce point précieuse que de nombreux points d'eau, même d'étendues très réduites, ont été traités, tandis que pour d'autres régions, comme la Région 6, l'Afrique orientale, et la Région 7, le Bassin du Zaïre, la limitation du volume de l'ouvrage nous a imposé de ne retenir qu'un certain nombre de leurs vastes zones humides et lacs peu profonds. Nous avons tenté de veiller à ce qu'au moins les zones d'importance aient pu être considérées. Sous ce vocable, nous entendons ici les zones importantes par leur étendue, leur rôle économique, leur intérêt du point de vue de la conservation de la nature, ou tout simplement par l'ampleur des études qui y ont été faites.

Les langues dans lesquelles ont été rédigés les textes des diverses contributions ont généralement été maintenues pour la publication du présent Répertoire. Elles correspondent les plus souvent aux langues d'origine européenne généralement utilisées ou connues dans les territoires considérés, avec toutefois quelques exceptions, la Région 2, Sahara, est traitée entièrement en anglais; dans la Région 3, Afrique occidentale, les lagunes côtières du Nigeria sont décrites en français, et l'est de la région 7, Bassin du Zaïre, comportant notamment le lac Bangweolo et le Mweru Wantipa, est traité en français.

En vue de synthétiser les données sur le climat de chaque région, les rédacteurs ont recommandé l'usage de diagrammes dessinés selon l'excellent système de Walter et Lieth (1960-67), dont l'Atlas fournit une des meilleures représentations du climat de toutes les régions d'Afrique.

Les autres informations relatives à chaque zone visent à en couvrir les aspects les plus divers, mais inévitablement avec un développement particulier des aspects hydrobiologiques, ne serait-ce qu'en raison de la spécialité des auteurs. Néanmoins, en vue d'une limitation du volume, aucun inventaire d'organismes n'a été publié, seules les espèces dominantes ou d'un intérêt particulier sont citées.

En signalant les actions humaines et l'aménagement des zones humides, nous nous sommes limités aux faits, sans vouloir émettre d'opinions ni formuler de propositions.

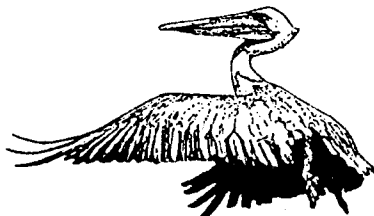
Nous espérons que, malgré ses imperfections, le présent Répertoire et les volumes qui l'accompagnent, seront utiles non seulement aux chercheurs, mais également à tous ceux à qui incombent des tâches d'exploitation, d'aménagement et de conservation dans les bassins hydrographiques des écosystèmes aquatiques.

REMERCIEMENTS

Les rédacteurs sont particulièrement reconnaissants aux Institutions auxquelles ils appartiennent, à celles qui ont subventionné leur travail, la "Royal Society" (Londres) et le "Fonds national de la Recherche fondamentale collective" - Contrat No. 2.0033.82 (Belgique), ainsi qu'aux coordonnateurs régionaux qui ont rassemblé les informations très diverses et détaillées reprises dans le présent volume. Nous exprimons aussi notre gratitude à tous ceux qui ont bien voulu nous donner des

informations à titre personnel, ont mis à notre disposition des publications ou d'autres documents, ou ont accepté de relire certaines parties des contributions. Bien que nous ayons tenté de donner des informations aussi correctes que possible, certaines erreurs subsistent inévitablement dans le présent travail, et nous prions les lecteurs de nous en excuser.

Mary J. Burgis, City of London Polytechnic
Jean-Jacques Symoens, Vrije Universiteit Brussel



LIST OF CONTRIBUTORS TO THE DIRECTORY
LISTE DES AUTEURS DU REPERTOIRE

Bailey, Roland G.
Department of Human Environmental Science
King's College, University of London
Hortensia Road, London SW10 0QX
UK

Bayed, Abdellatif
Institut scientifique
Département de Zoologie et Ecologie Animale
Charia Ibn Batota, B.P. 703, Rabat-Agdal
Maroc

Beaubrun, Pierre-Christian
Institut scientifique
Département de Zoologie et Ecologie Animale
Charia Ibn Batota, B.P. 703, Rabat-Agdal
Maroc

Benech, Vincent
ORSTOM
213, rue La Fayette, 75480 Paris
France

Burgis, Mary J.
Department of Biological Sciences
City of London Polytechnic
Old Castle Street, London E1 7NT
UK

Cogels, F.-Xavier
Fondation Universitaire Luxembourgeoise
Rue des Déportés 140, 6700 Arlon
Belgique

Colleuil, Bernard
Laboratoire de Géologie
Faculté des Sciences
Boulevard Lavoisier - Belle-Beille
49045 Angers Cedex
France

Compère, Pierre
Jardin Botanique National
Domaine de Bouchout, 1860 Meise
Belgique

Davies, Bryan
Zoology Department, University of Cape Town,
Rondebosch 7700
South Africa

Denny, Patrick
School of Biological Sciences
Queen Mary College, University of London
Mile End Road, London E1 4NS
UK

Dufour, Philippe
Antenne ORSTOM
Station d'Hydrobiologie lacustre
Avenue de Corzent, 74203 Thonon-les-Bains
France

Dumont, Henri J.
Instituut voor Dierkunde
Rijksuniversiteit Gent
Ledeganckstraat 35, 9000 Gent
Belgique

Gac, Jean-Yves
Département de Biologie, ORSTOM-Hann
B.P. 1386, Dakar
Sénégal

Gasse, Françoise
Ecole Normale Supérieure
5, rue Boucicaut
92260 Fontenay-aux-Roses
France

Gordon, Christopher
Zoology Department, University of Ghana
Legon, Accra
Ghana

Green, James
School of Biological Sciences
Queen Mary College, University of London
Mile End Road, London E1 4NS
UK

Hare, Landis
Department of Biology, University of Waterloo
Waterloo, Ontario
Canada NL2 3G1

Iltis, André
ORSTOM
213, rue La Fayette, 75480 Paris
France

Lemoalle, Jacques
ORSTOM
3191 route de Mende, 34060 Montpellier
France

Lévêque, Christian
ORSTOM
213, rue La Fayette, 75480 Paris
France

Mavuti, Kenneth M.
Zoology Department, University of Nairobi
P.O. Box 30197, Nairobi
Kenya

Mepham, J. Susan
c/o Professor W.G. Chaloner, FRS
Department of Botany
Royal Holloway College
University of London
UK

Mepham, R.H.
c/o Professor W.G. Chaloner, FRS
Department of Botany
Royal Holloway College
University of London
UK

Millet, Bertrand
Laboratoire d'Hydrologie
ORSTOM
213 rue La Fayette, 75480 Paris
France

Moreau, Isabelle
Laboratoire d'Ichtyologie appliquée
Ecole Normale Supérieure Agronomique
145, avenue de Muret
31076 Toulouse-Cedex
France

Moreau, Jacques
Laboratoire d'Ichtyologie appliquée
Ecole Normale Supérieure Agronomique
145, avenue de Muret
31076 Toulouse-Cedex
France

Morgan, Neville C.
Les Echeties, Thiéfosse
88290 Saulxures-sur-Moselotte
France

Saad, Massoud A.H.
Oceanography Department,
Faculty of Science, Alexandria University
Moharem Bey, Alexandria
Egypt

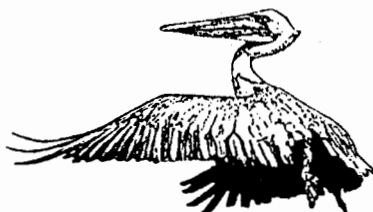
Symoens, Jean-Jacques
Laboratorium voor Algemene Plantkunde
en Natuurbeheer
Vrije Universiteit Brussel
Pleinlaan 2, 1050 Brussel
Belgique

Texier, Hervé
ENS - Souissi
B.P. 773, Rabat-Agdal
Maroc

Thévenot, Michel
Institut scientifique
Département de Zoologie et Ecologie Animale
Charia Ibn Batota, B.P. 703, Rabat-Agdal
Maroc

Vincke, P.P.
Institut des Sciences de l'Environnement
Université de Dakar
Sénégal

Zaouali, Jeanne
INAT, Section halieutique
43, avenue Charles Nicolle
Tunis - Belvédère
Tunisie



GLOSSARY/GLOSSAIRE

compiled by Bryan Davies and Françoise Gasse

This glossary is an attempt to list definitions of local or general terms used in Africa to designate different types of wetlands. The terms are classified in alphabetical order. Terms of local origin are not translated. English words do not always have very precise French equivalents and vice versa. In such cases, nearest translations are given in parenthesis.

Nous avons tenté dans ce glossaire de donner une définition des termes locaux ou généraux s'appliquant en Afrique aux différents types de zones humides. Ces termes sont classés par ordre alphabétique. Les mots d'origine locale ne sont pas traduits. Les termes anglais n'ont pas toujours un équivalent exact en français et réciproquement et dans ce cas, la plus proche est indiquée entre parenthèses.

AGUELMANE

Berber term meaning lake.

Terme berbère signifiant lac.

CHOTT

Terme d'origine nord africaine. Ce sont des grandes dépressions peu profondes, dont l'inondation est irrégulière dans le temps (pas chaque année) et dans leur étendue (Morgan 1982). Ils sont situés le long de la bordure septentrionale du Sahara et sont généralement salés. Certains d'entre eux constituaient des lacs au cours des périodes humides du dernier Quaternaire.

A North African term; they are large, shallow depressions flooded irregularly both in time (not each year) and space (Morgan 1982). They are situated along the northern border of the Sahara and they are usually saline. Some were lakes during the wet periods of the late Quaternary.

DAMBO

This term is close to "swamp", but dambos are thought by some authors to be genetically different from swamps. Ackerman (1936) defined a dambo as a "periodically inundated grass covered depression at the headwaters of a drainage system in a region of dry forest or bush vegetation". He considered dambos as streamless grassy depressions as opposed to river flats. A slightly different definition is given by Hindson (1955) "... seasonally waterlogged, grass-covered treeless areas bordering a drainage line". As far as Balek (1977) is concerned, dambos differ from intermittent swamps in that they are recharged mostly by precipitation, whereas the subsurface inflow is more important for swamps.

According to Balek & Perry (1973), vleis in South Africa and "mbuga" in East Africa are equivalent to dambos. However, this is to be discouraged, for the term "vlei" as applied in South Africa has a very wide meaning.

Ce terme est voisin de marais mais quelques auteurs pensent que les dambos diffèrent des "swamps" par leur origine. Ackerman (1936) définit un dambo comme une dépression couverte de végétation herbacée et périodiquement inondée, à l'amont d'un bassin de drainage dans une région de forêt sèche ou arbustive. Cet auteur considère qu'il s'agit de dépressions colonisées par la végétation herbacée et sans cours d'eau, à l'inverse des "river flats".

Une définition un peu différente est donnée par Hindson (1955): des zones couvertes de végétation herbacée, sans arbres, saisonnièrement saturées d'eau, bordant la ligne de drainage. Selon Balek (1977), les dambos se différencient des "swamps" intermittents dans la mesure où les apports en eau proviennent surtout des précipitations alors que les apports par drainage de surface sont plus importants pour les "swamps".

Selon Balek & Perry (1973), les "vleis" d'Afrique du Sud et les "mbuga" d'Afrique de l'Est sont équivalents aux "dambos". Le terme "vlei" ayant une signification très large en Afrique du Sud, cette synonymie ne peut être retenue.

DAYA (DAYET)

Berber term meaning temporary pool or swamp or permanent lake.

Terme berbère signifiant mare temporaire ou marais permanent.

ETANG

Ce terme français désigne souvent une étendue d'eau peu profonde, plus petite qu'un lac, mais plus grande qu'une mare. En fait, il n'a pas de sens très précis et Dussart (1966) a proposé de l'utiliser exclusivement pour des corps d'eau artificiels contrôlés par l'homme. Si l'on admet cette définition, le terme anglais équivalent serait "artificial ponds". Ce terme est peu utilisé en Afrique.

In French, this word is often used for shallow waterbodies intermediate between lakes and ponds. In fact, the meaning is rather vague and Dussart (1966) proposed that the term be used only in cases of artificial waterbodies controlled by man. If that meaning is recognized then the English equivalent is "artificial pond". The term is rarely used in Africa.

FLAT = PLAINE INONDEE (PLAINE D'INONDATION, PLAINE INONDABLE)

Flats may be considered synonymous with floodplains: for instance, the Kafue Flats in Zambia, within the Zambezi watershed.

On peut considérer que ce terme est synonyme de plaine inondée; c'est le cas par exemple des Kafue Flats en Zambie dans le bassin du Zambeze.

FLOODPLAIN = PLAINE INONDEE, PLAINE D'INONDATION, PLAINE INONDABLE

These are typically associated with a river and are flooded regularly. They appear flat but the micro-relief can lead to great differences in period of immersion. In fact, a floodplain consists of a complex pattern of lagoons, pools, ox-bow lakes, seasonal marshes, etc. According to climate and depth, these different waterbodies are seasonal or more or less permanent.

A detailed description of the origin and morphology of floodplains is given by Welcomme (1979). Three main types may be considered:

- Fringing Floodplains are relatively narrow strips of floodable land lying between the river valley walls.
- Internal Deltas occur where river systems spread laterally over very large alluvial plains. The main stream is usually divided into anabranches which join the main channel below the deltaic area. Eg. the River Niger.
- Coastal Deltaic Floodplains develop where the main channel breaks down into smaller branches and produces the classic fan-shaped delta. These are usually strongly influenced by the sea. Eg. the Rivers Nile and Niger.

Ce sont des milieux typiquement associés à des cours d'eau et périodiquement inondés. Ils sont en général très plats mais en fonction du micro-relief, il peut y avoir de grandes différences dans la durée de l'inondation.

En réalité, une plaine inondée est un complexe de lagons, de mares, de bras morts et de marécages saisonniers etc. Selon le climat et la profondeur des eaux, ces milieux sont saisonniers ou plus ou moins permanents.

Welcomme (1979) donne une description détaillée de l'origine et de la morphologie des plaines inondées. Trois types principaux peuvent être considérés:

- Les plaines inondées frangeantes sont des bandes étroites de terre inondable dans le lit majeur de la rivière.
- Les deltas intérieurs apparaissent lorsque les fleuves s'étalent dans de grandes plaines alluviales. Le cours principal se ramifie et les bras secondaires rejoignent le cours principal au delà de la zone considérée. E.g. le Niger.
- Les plaines inondées des deltas côtiers apparaissent lorsque le cours principal se ramifie pour donner la forme en éventail classique des deltas. Ceux ci sont généralement fortement influencés par la mer. E.g. le Nil et le Niger.

GUELTA

These are desert river-bed pools which occur in mountainous areas, situated either at the foot of former waterfalls or at a site where the river bed was earlier deepened. They may be permanent, temporary or spring fed (the term may also be applied to Saharan "kettle holes"). Variants on this term are: glat (plural), gueltet, glertat.

Ce sont des vasques dans le lit des rivières en zone désertique et montagneuse, situées soit au pied d'anciennes chutes, ou à un endroit où le lit de la rivière a été surcreusé. Elles peuvent être permanentes, temporaires ou alimentées par des sources (le terme peut s'appliquer également aux "kettle holes" sahariens). Des variantes de ce terme sont glat (pluriel), gueltet, glertat.

LAC = LAKE

Grande nappe naturelle d'eau douce ou plus rarement salée à l'intérieur des terres.

Large, natural inland waterbody, occasionally saline.

LAGOON = LAGON

Lagoons are shallow standing waterbodies associated with a river. Compared to true lakes they are more transitory open waters without vegetation (Welcomme 1979). They are equivalent to the "varzea" lakes of Amazonia - also coastal depressions which may have either temporary or permanent connection with the sea (Lankford 1977)

Ce sont des milieux peu profonds d'eau dormante généralement reliés à des cours d'eau toute l'année. Par rapport aux vrais lacs, ils sont des zones d'eau libre, sans végétation, plus éphémères (Welcomme 1979). Ils sont équivalents aux lacs de "varzea" d'Amazonie - aussi dépressions côtières avec une communication permanente ou éphémère avec la mer (Lankford 1977).

MARAIS, MARECAGES (= SWAMP, MARSH)

La définition des termes marais et marécages est imprécise en français. D'après le dictionnaire Robert, un marécage est un "lieu inculte et humide à flore particulière où s'étendent des marais". Un marais est une "nappe d'eau stagnante généralement peu profonde recouvrant un terrain partiellement envahi par la végétation". Ces deux termes paraissent synonymes pour Verger (1971) pour qui "les marais sont des terrains dont le drainage naturel est imparfait". Les marais intérieurs (par opposition aux marais côtiers) ont des origines assez semblables à celles des lacs auxquels ils succèdent souvent.

The definitions of "marais" and "marecages" are not too clear in French. According to Robert's Dictionary, a "marecage" is a wet area with a specific flora, whereas "marais" are stagnant waterbodies, usually shallow, and which lie over partly vegetated areas. According to Verger (1971), these two words seem to be synonymous; both refer to areas with imperfect natural drainage. Continental "marais" (as opposed to coastal "marais") have similar origins to lakes, which they often eventually succeed.

MARE = POOL; POND (ETANG)

Ce terme désigne généralement des petites nappes d'eau peu profondes et stagnantes. Ce sont donc des lacs de dimensions restreintes qui peuvent être permanents ou temporaires.

This term generally refers to small, shallow and stagnant waterbodies. They are equivalent to small lakes and can be permanent or temporary.

MARIGOT

Les marigots sont des bras de rivières périodiquement inondés dans lesquels stagnent, lors du tarissement, des mares (vasques d'eau) s'asséchant lentement.

Marigots are periodically inundated river valleys which subsequently develop temporary standing pools and dry out slowly.

MARSH (= MARAIS, MARECAGES)

Marshes differ from swamps in that there is little or no standing water among the vegetation (Wetzel 1975). The sediments are water-saturated. The distinction between the terms marsh and the European "fen" is largely made on the basis of phytosociological differences, where floristic associations occur with species or groups of species exhibiting high fidelity. Some marshes and fens under poor nutrient conditions possess a well developed bryophyte layer, particularly of Sphagnum species. The moss vegetation can eventually dominate the system in the formation of bogs (Wetzel 1975).

Ces milieux diffèrent des "swamps" par le fait qu'il n'y a pas de plan d'eau stagnante entre la végétation (Wetzel 1975). Le sédiment est saturé d'eau.

La distinction entre les termes "marsh" et "fen" (utilisés en Europe) est principalement basée sur des différences phytosociologiques, avec des associations floristiques d'espèces caractéristiques. Lorsque ces milieux sont pauvres en éléments nutritifs ils sont colonisés d'une couche de bryophytes, particulièrement de l'espèce Sphagnum. Si la végétation de mousses devient dominante, il y a formation de tourbières (Wetzel 1975).

MIRE = TOURBIERE

Mire is a collective term which embraces both bog (= moss in British literature) and fen, differentiated according to rather subtle floristic variations and often containing both communities together (Wetzel 1975). In some cases bogs are genetically related to lakes as a possible final stage of lake development.

"Mire" est un terme général regroupant à la fois les "bogs" (tourbière à bryophytes en littérature britannique) et les "fens" qui se différencient par leurs variations et souvent associant les deux communautés floristiques (Wetzel 1975). Dans certains cas, les tourbières peuvent représenter le stade final de l'évolution d'un étang ou d'un lac.

OASIS

This term is used in the Saharan zone.

An oasis may be defined as a spring-fed waterbody holding permanent water (Morgan & Boy 1982). They are usually relatively small.

Terme utilisé dans la zone saharienne.

Il peut être défini comme un milieu alimenté en permanence par les eaux de source (Morgan & Boy 1982). Ils sont en général de dimension réduite.

PAN

Pans are endorheic and are not associated with river drainage systems. They are shallow oval depressions without outlet, but with an impervious substratum. They flood during local rains and dry out seasonally. They are characteristic of the Kalahari, and the western and south western Transvaal, forming the so called "pans belt" of southern Africa (Noble & Hemens 1978; Geldenhuys 1981). Different types of pans can be distinguished and these appear to have North African equivalents:

- Salt Pans are dry for most of the time but may contain perennial pools filled by springs. These pans are equivalent to North African "chotts" while the springs conform to North African oases.
- Temporary Pans are also dry for long periods and are moderately saline but are flooded during the rainy season. They are equivalent to the North African "sebkhets" or "sebkhas" and have been variously described as brackish pans, alkaline pans, mud pans, and pans without vegetation.
- Grass Pans or Diplachne Pans are seasonal and dry up in winter. They are covered by a thick growth of hygrophilous grasses and other low terrestrial vegetation. Their waters are fresh to slightly saline.
- Reed Pans and Sedge Pans are temporary or semi-permanent pans with a dense stand of Phragmites and Cyperaceae. They are equivalent to swamps. Some of the so-called pans are sufficiently large and permanent to be lakes sensu strictu (for instance, Lakes Chrissie and Banaghei, Barberspan).

Les pans sont des milieux endoréiques qui ne sont pas associés à un réseau hydrologique. Ce sont des dépressions ovales peu profondes sans émissaire sur substrat imperméable. Ils se remplissent durant les pluies et s'assèchent saisonnièrement. Ils sont caractéristiques du Kalahari, du Transvaal occidental et sud-occidental, formant ce qui est appelé la "pan belt" en Afrique du Sud (Noble & Hemens 1978; Geldenhuys 1981). On peut distinguer différentes catégories de pans qui paraissent équivalents à certains milieux définis de l'Afrique du Nord:

- Les "Salt Pans" sont à sec la plupart du temps mais peuvent contenir des mares permanentes alimentées par des sources. Ceux ci sont équivalents aux "Chotts" d'Afrique du Nord, alors que les sources se conforment aux "oasis" Nord Africain.
- Les "Temporary Pans" sont asséchés durant de longues périodes mais inondés régulièrement en saison des pluies. Ils sont moyennement salés. Ils sont équivalents aux "sebkhets" ou "sebkhas" d'Afrique du Nord et sont décrits sous divers noms: "brackish pans", "alkaline pans", "mud pans" et pans sans végétation.
- Les "Grass Pans" ou "Diplachme Pans" sont saisonniers et s'asséchant en hiver. Ils sont couverts par une épaisse végétation d'herbes hydrophiles ainsi que par une végétation terrestre de petite taille. Les eaux sont douces ou légèrement salées.
- Les "Reed Pans" et "Sedge Pans" sont temporaires ou semi-permanents avec une roselière dense de Phragmites et de Cypéracées. Ils sont équivalents des "swamps". Certains milieux appelés "pans" sont suffisamment grands et permanents pour être des lacs sensu strictu (c'est le cas par exemple des lacs Chrissie et Banaghei, Barberspan).

POOL = MARE

Pools are generally shallow and small-sized waterbodies. Their origin may either be rainfall (rain pools) or river flooding. They are seasonal, drying out in the dry season. In Zaire, the term pool is used to describe expansions of a river system (e.g. Pool Malebo = Stanley Pool).

Les "pools" sont des milieux en général peu profonds et de petite taille qui doivent leur origine aux pluies ("rain pools") ou à l'inondation par des rivières. Ils sont saisonniers, s'asséchant en saison sèche. Le terme est utilisé au Zaïre pour désigner les vasques dans les cours d'eau (e.g. Pool Malebo = Stanley Pool).

SEBKHET OR SEBKHA

North African terms describing systems which are, in many ways, similar to chotts. However, the major difference lies in the fact that they hold water seasonally and some of them may remain full for over a year (Morgan 1982; Morgan & Boy 1982). They occur in northern Tunisia, to the north of the arid chotts zone, and on the plateau to the south of Constantine in Algeria (Morgan 1982) and Mauritania (Sebkha Chemchane). Vegetated and unvegetated sebkhas have been distinguished in the literature.

Ces termes nord africains désignent des systèmes qui sont semblables aux chotts, mais qui sont mis en eau saisonnièrement, certains pouvant même rester humides toute l'année (Morgan 1982; Morgan & Boy 1982). Il se rencontrent en Tunisie, au nord de la zone aride des chotts, sur le plateau au sud de Constantine en Algérie (Morgan 1982), et jusqu'en Mauritanie (Sebkha Chemchane). Les "sebkhas" couverts ou non de végétation ont été différenciés dans la littérature.

SPONGE

A bog or mire system at high altitude; used frequently in the context of southern African "Mont-aux sources". Many sponges are associated with, for instance, the headwaters of the Orange River and other systems in the Drakensburg Mountains (e.g. Jacot Guillarmod 1962, 1963).

C'est une tourbière ("bog" ou "mire") d'altitude. Terme utilisé fréquemment en Afrique du Sud dans le contexte du "Mont-aux-Sources". Certains sont associés aux zones amont de la rivière Orange et d'autres systèmes fluviaux des montagnes Drakensberg (e.g. Jacot Guillarmod 1962, 1963).

SWAMP

"In Africa the term swamp generally applies to wet areas covered with tall herbaceous vegetation" (Howard-Williams & Gaudet 1979). A swamp is a more or less permanently water-logged system with persistent standing water among the vegetation (Wetzel 1975).

"In Africa, herbaceous swamps can be defined as flat areas which are flooded to a shallow depth either permanently, or for most of the year, which are densely covered with herbaceous vegetation whose shoots rise out of the water to a height of more than one metre. Such swamps can be bottom-rooted or floating" (Howard-Williams & Gaudet 1979).

Ce terme désigne généralement en Afrique des zones humides couvertes d'une végétation herbacée assez haute (Howard-Williams & Gaudet 1979). Un "swamp" est un milieu saturé en eau de manière plus ou moins permanente, avec de l'eau stagnante entre la végétation (Wetzel 1975).

En Afrique, on peut définir les "swamps" herbacés comme des zones plates recouvertes en permanence ou durant la majeure partie de l'année d'une faible épaisseur d'eau, et qui sont colonisées par une végétation herbacée dense dont les liges peuvent dépasser de plus d'un mètre la surface du plan d'eau. Ces "swamps" peuvent être enracinés ou flottants (Howard-Williams & Gaudet 1979).

TOICHE

Terme utilisé pour désigner une plaine inondée saisonnièrement du bassin du Nil (région Sudd en Soudan).

A "toiche" is a seasonally inundated floodplain of the Nile system (in the Sudd region of Sudan).

TOURBIERE (= PEAT BOG, MIRE SPONGE)

Une tourbière est un écosystème formé d'hydrophytes dont la croissance engendre l'accumulation d'importantes quantités de matière végétale qui, après une décomposition modérée, forme la tourbe, roche renfermant jusqu'à 50% carbone ((Bournerias 1973). Les tourbières topogènes se forment dans les vallées marécageuses. Par comblement et épaissement vertical du tapis végétal, elles peuvent se transformer en tourbière bombée, ombrogène alimentées par les pluies (tourbières à Sphaignes). De telles tourbières acides existent dans les hautes montagnes est-africaines et en bordure du littoral atlantique au Sénégal.

A "tourbière" is formed through the growth of hydrophytes which accumulate in large amounts. Eventually, peat forms after partial decay, with up to 50% carbon (Bournerias 1973). Topogenic peat bogs occur in swampy valleys. These depressions may be filled by vegetative accumulations, in which case raised peat bogs or ombrogenic (fed by rains) may form. These wetlands are colonized by Sphagnum and such acid bogs occur in the high mountains of East Africa as well as along the Senegal coast.

VLEI

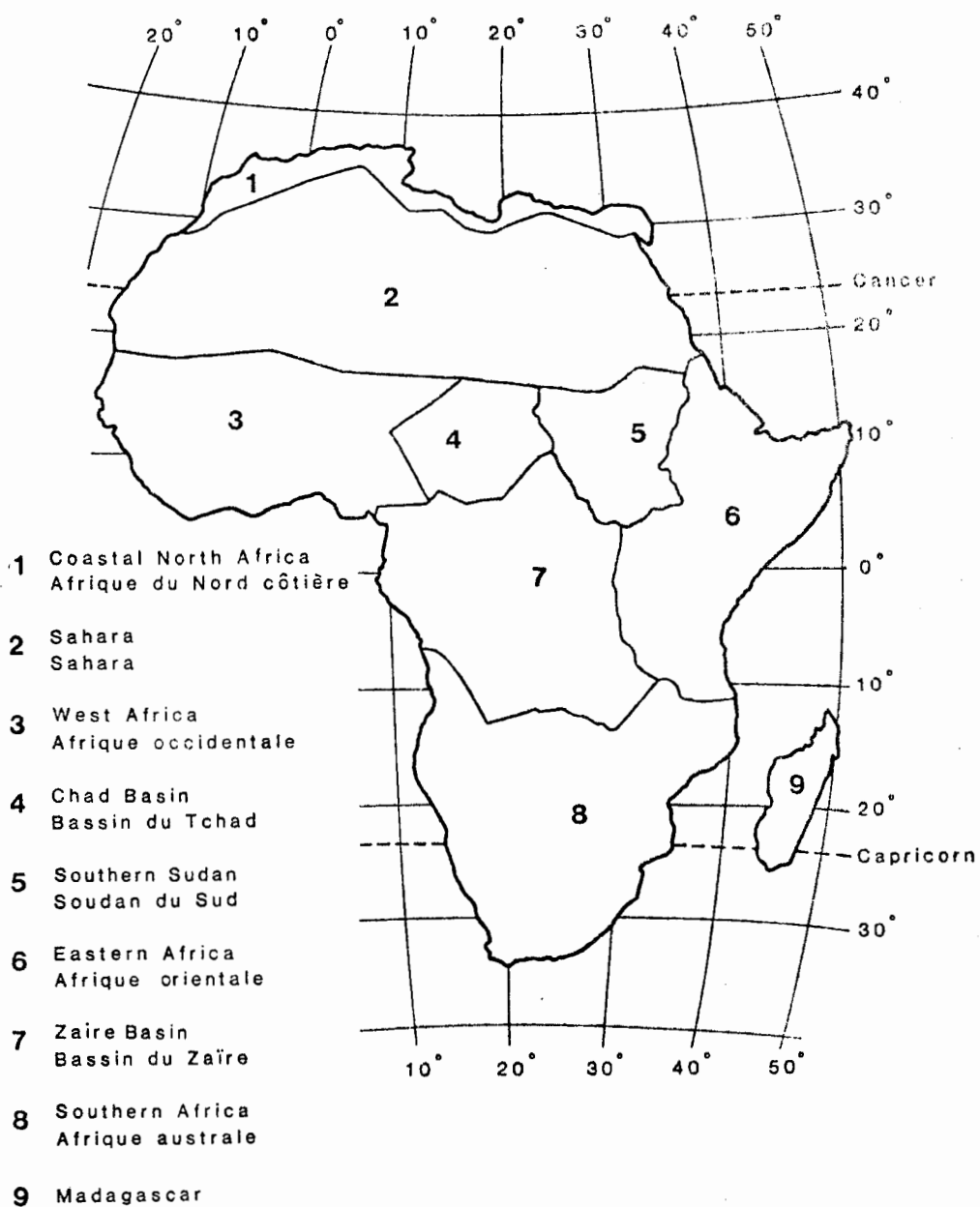
Applied in South Africa to a wide range of situations including seasonally or perennially wet areas within river drainage systems, which are dominated by emergent hydrophytes. The term is also applied to many South African coastal and estuarine lakes, many of which have extensive areas of reeds and sedges (Noble & Hemens 1978). Some vleis may be described as marshes or swamps, while others are equivalent to dambos.

Ce terme s'applique en Afrique du Sud à une grande gamme de milieux humides, permanents ou pérennielles, associés à un réseau hydrographique, qui sont caractérisés par l'abondance des macrophytes émergents. Ce mot désigne également en Afrique du Sud des lacs côtiers ou estuariens qui possèdent de grandes surfaces de roseaux (Noble & Hemens 1978). Quelques uns peuvent être considérés comme des "marshes" ou des "swamps" alors que d'autres seraient plutôt des "dambos".

REFERENCES

- Ackerman, E. 1936: Dambos in Northern Rhodesia. Wiss. Veroff. Leipzig 4, 149-157.
- Balek, J. 1977: Hydrology and water resources in tropical Africa. Developments in Water Science 8. Elsevier, Amsterdam, 208 pp.

- Balek, J. & Perry, J.E. 1973: Hydrology of seasonally inundated African headwater swamps. J. Hydrology 19, 227-299.
- Bournerias, M. 1973: Tourbières. pp. 199-202. In Encyclopaedia Universalis. v. 16.
- Dussart, B.H. 1966: Limnologie - L'étude des eaux continentales. Gauthier-Villars, Paris, 677 pp.
- Geldenhuys, J.N. 1982: Classification of the pans of the western Orange Free State according to vegetation structure, with reference to avifaunal communities. S. Afr. Tydskr. Natuurav. 12, 55-62.
- Hindson, J.R.E. 1955: Protection of dambos by means of contour seepage furrows. Ministr. Agric. Int. Rep. Lusaka. 53 pp.
- Howard-Williams, C. & Gaudet, J.J. 1979: Structure and function of swamps. Document prepared for the Societas Internationale Limnologiae - United Nations Environmental Programmes Workshop on African Limnology, University of Nairobi, December 1979.
- Jacot Guillarmod, A. 1962: The bogs and sponges of the Basutoland mountains. S. Afr. J. Sci. June, 179-182.
- Jacot Guillarmod, A. 1963: Further observations of the bogs of the Basutoland mountains. S. Afr. J. Sci. April, 115-118.
- Lankford, R.R. 1977: In Estuarine Processes. R Wiley (ed.). v. 2 Academic Press N.Y. & Lond., 182 pp.
- Morgan, N.C. 1982: An ecological survey of standing waters in north west Africa. II. Site descriptions for Tunisia and Algeria. Biol. Conserv. 24, 83-113.
- Morgan, N.C. & Boy, V. 1982: An ecological survey of standing waters in north west Africa. I. Rapid survey and classification. Biol. Conserv. 24, 5-44.
- Noble, R.G. & Hemens, J. 1978: Inland water ecosystems in South Africa. A review of research needs. South African National Scientific Programmes Report No. 34, C.S.I.R., Pretoria. 150 pp.
- Vergeer, F. 1971: Marais et vasières. pp. 472-475. In Encyclopaedia Universalis. v. 10
- Wetzel, R.G. 1975: Limnology. W B Saunders & Company, 743 pp.



Regions of Africa treated in this Directory
Régions d'Afrique traitées dans le présent répertoire

AFRIQUE DU NORD COTIERE

Coordinateur

COASTAL NORTH AFRICA

Co-ordinator

Jacques LEMOALLE

1.1. LAGUNES ET MARAIS COTIERS DU MAROC ET DE L'ALGERIE

par Abdellatif BAYED, Pierre-Christian BEAUBRUN, Michel THEVENOT (Maroc)
& Neville C. MORGAN (Algérie)

1.1.a. MERJA ZERGA (lagune de Moulay Bou Selham)

1. Géographie et Morphologie

Localisation (figure 1.2): Cercle de Souk el Arba, Province de Kenitra (Maroc) 34°37' - 34°52'N, 06°13' - 06°18'W; altitude: 0 m

Surface: bassin de drainage: 150 km²; surface de la lagune: 45 km² dont 30% d'eau libre en moyenne suivant le marnage

Paysage: plaine alluviale

Morphométrie: forme générale elliptique; longueur maximum (N-S) = 9 km, largeur maximum (E-W) = 5 km.

La profondeur moyenne est de 1,5 m dans les chenaux et de 0,5 m dans la lagune s.s. La profondeur maximale, atteinte dans le goulet, est de 4,5 m.

2. Géologie et Climat

Géologie: La Merja Zerga appartient au bassin du Rharrb situé entre deux grands ensembles structuraux: la Meseta et le Rif. Elle constitue un milieu sédimentaire actuel qui occupe une dépression (courbure des formations Villafranchiennes) dont l'axe est jalonné par le cours de l'oued Drader.

Climat: Les environs immédiats de la lagune ne comportent pas de station météorologique. Nous utilisons les données climatologiques de la station de Kenitra, 79 km au Sud (figure 1.4).

Type: Csa₅.

Vents: Prédominance des vents de secteur W et SW (60%) qui sont les plus violents (moyenne annuelle = 4,5 m/s). Les vents d'E sont peu fréquents (20%). Les vents des secteurs N et S sont rares (10% + 10%).

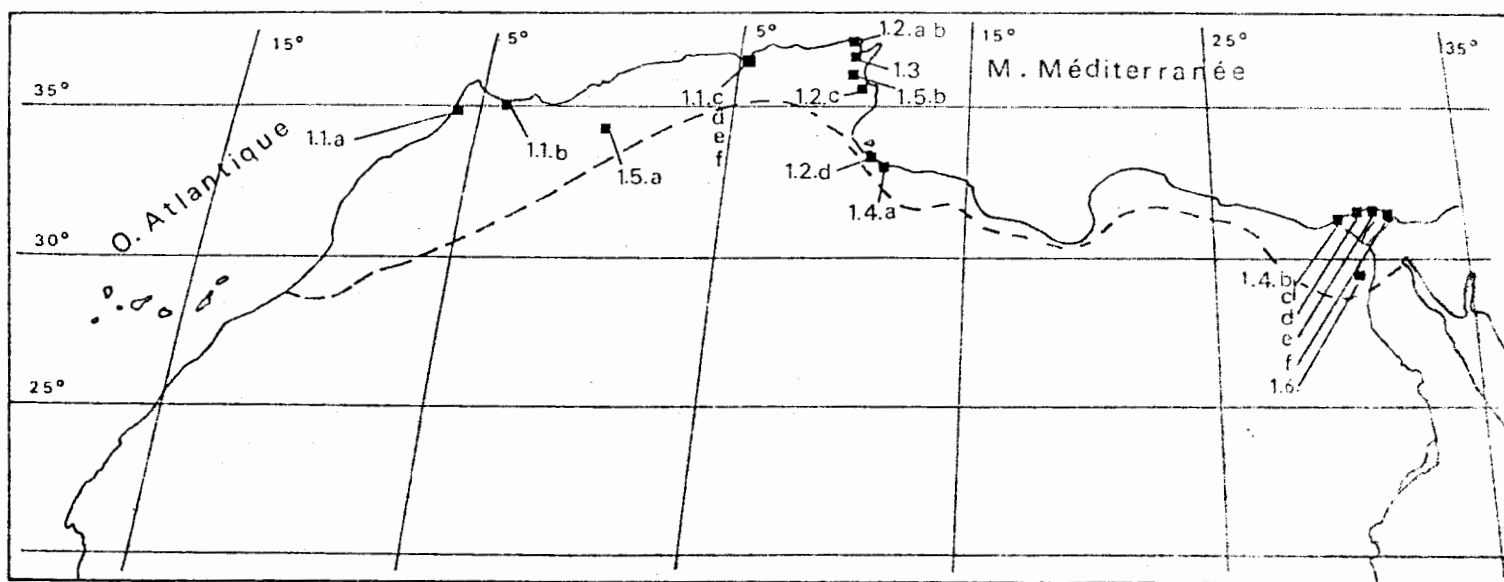


Fig. 1.1 Afrique du Nord côtières: limites de la région et localisation des plans d'eau répertoriés.

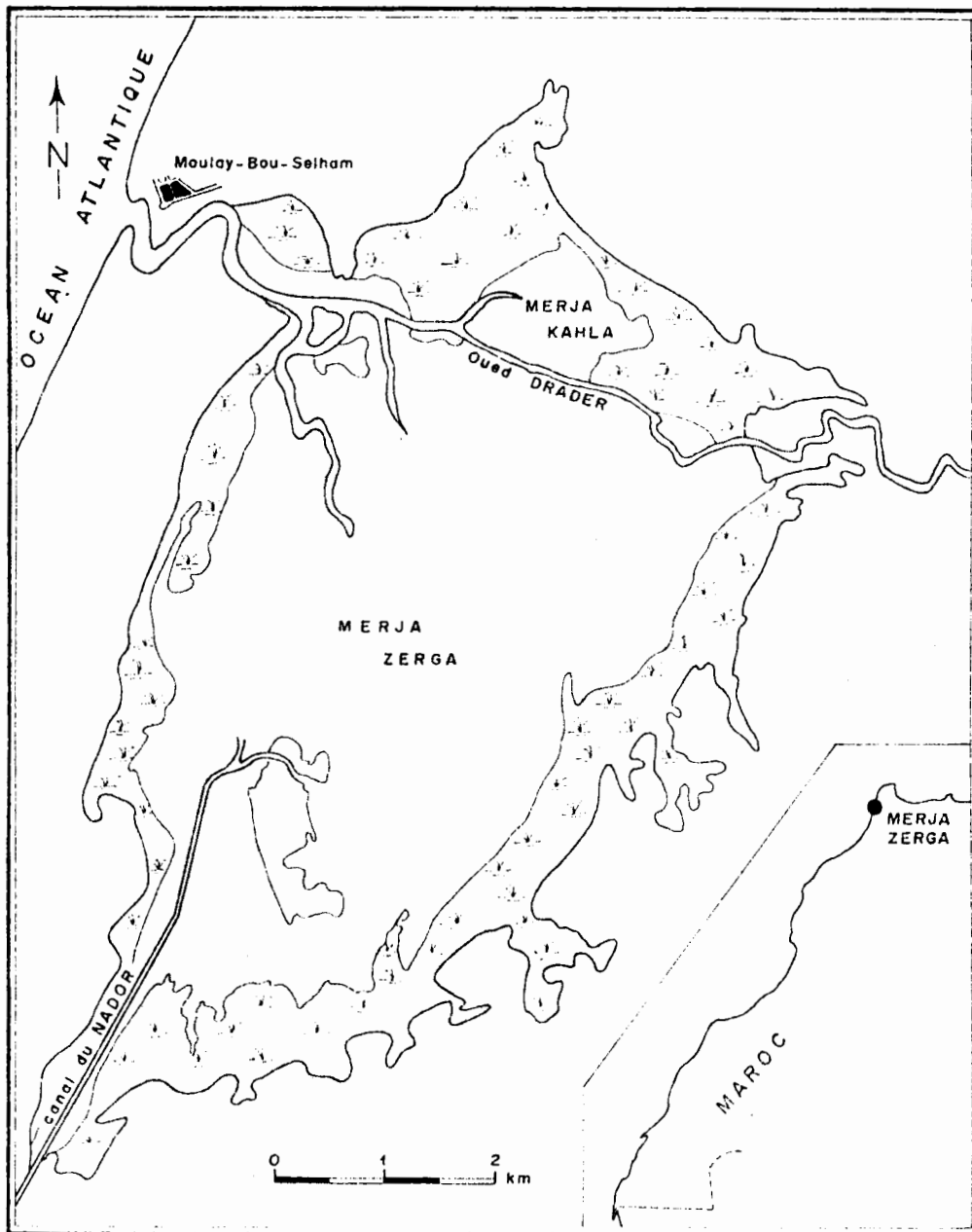


Fig. 1.2 Merja Zerga

Précipitations: La moyenne annuelle varie entre 600 et 700 mm. La saison pluvieuse s'étend de l'automne au début du printemps avec deux maxima en octobre et en janvier. Les minima, voire l'absence de pluie, s'observent en été (de juin à août).

Température de l'air: La température moyenne mensuelle oscille entre 12°C et 23°C alors que la moyenne annuelle est de 17,4°C. Au cours de l'hiver les gelées sont rares.

3. Hydrographie et hydrologie

Par l'intermédiaire d'une passe, permanente depuis 1953 bien qu'elle puisse exceptionnellement être obstruée lors de très vives tempêtes, la Merja Zerga communique avec l'Océan Atlantique. Son régime hydrologique est donc soumis au balancement des marées. Deux arrivées d'eau douce, permanentes, se jettent dans la lagune: l'oued Drader au NE (débit moyen annuel de 0,5 m³/s calculé avant la construction récente d'un petit barrage) et le canal du Nador au S qui draine toutes les merjas côtières situées au Sud de la lagune. Ajoutons à cela les apports (non quantifiés) d'une nappe phréatique souterraine. L'ensemble de ces conditions implique de très grandes variations de salinité et de température et si, en été, toute la superficie du plan d'eau est envahie par les eaux euhalines, en hiver toute la merja est dessalée (eaux mixo-halines).

4. Caractéristiques physico-chimiques

	Maximum	Minimum
Force maximum du courant dans le goulet	1,0 m/s	0,5 m/s
Retard de haute mer (en heure)	00:45 en automne près du goulet (M.E.) 01:05 en hiver emb. du Drader (M.E.)	00:05 en automne, goulet (V.E.) 00:30 en automne, emb. Drader (V.E.)
Retard de basse mer (en heure)	02:30 de sept. à mars, goulet (V.E.) 03:17 en mars, emb. du Drader (V.E.)	00:17 en automne, goulet (M.E.) 00:27 en automne, emb. Drader (M.E.)
Marnage	1,56 m en automne dans le goulet 1,03 m en automne, emb. du Drader	0,15 m en hiver dans le goulet 0,08 m en hiver, emb. Drader
Température eaux de surface	28,7°C en été dans le goulet 28,3°C en automne, emb. du Drader	13,6°C en hiver dans le goulet 12,8°C en hiver, emb. du Drader

Température eaux de fond	27,9°C en été dans le goulet	13,8°C en hiver dans le goulet
	28,7°C en automne, emb. du Drader	12,9°C en hiver, emb. du Drader
Salinité	36 ‰ à marée haute toute l'année dans le goulet et l'emb. du Drader	16,7 ‰ en hiver, goulet 1,47 ‰ en hiver, emb. Drader (marée basse)

5. Macrophytes

Végétation riveraine de l'oued Drader et du canal du Nador: Phragmites sp., Scirpus lacustris et Iris pseudacorus. Végétation halophile des schorres: Salicornia arabica, S. perennis, Juncus acutus, J. subulatus, Scirpus maritimus et Cladium mariscus.

Zostera noltii, Ruppia cirrhosa, Ulva sp. et Enteromorpha sp. constituent la végétation submergée.

6. Phytoplancton: diatomées et algues unicellulaires.

7. Invertébrés

Microfaune benthique et planctonique: abondante mais composée de peu d'espèces parmi lesquelles Ammonia beccarii et Nonion depressulum (Foraminifères benthiques), Cyprideis torosa et Loxoconcha elliptica (Ostracodes) sont dominantes.

Une estimation quantitative révèle une abondance assez grande: plus de 200 foraminifères benthiques et plus de 100 ostracodes dans 10 g de sédiment brut (liste complète d'espèces dans Bidet et al., 1980).

Macrofaune:

substrat rocheux limité dans le goulet et le chenal principal: Mytilus sp., Ostrea stentina, Crassostrea angulata, Pholas dactylus, Nassa sp. et Carcinus moenas.

substrats meubles: Cerastoderma edule (800 à 1000/m²), Venerupis semidecussata (10/m²) et Solen marginatus (5/m²) sont très abondants dans les sables marins et se retrouvent en moins grand nombre dans les sables vaseux où l'on rencontre aussi des Annelides polychètes et le crabe Uca tangeri. Scrobicularia plana (200/m²) en profondeur et Hydrobia ulvae (1800/m²) en surface dominent dans la zone des vases thixotropiques (M. Lacoste, comm. pers.).

8. Poissons

La majeure partie des poissons, d'origine marine, ne se trouve qu'au niveau du chenal de communication avec la mer: Sparidés, Mullus, Soleidés et Torpedo ocellata sont les plus communs. Dans les chenaux s'observent des poissons amphihalins: Mugilidés (3 espèces), Dicentrarchus labrax et D. punctatus, mais surtout Anguilla anguilla dont les ressources sont évaluées à environ 100 t.

9. Autres vertébrés

Batraciens, Reptiles et Mammifères: faune banale des zones littorales du Nord du Maroc (Rana esculenta, Pleurodeles waltii, Pelobates varaldii, Natrix maura, Mus spretus, Gerbillus campestris, Lepus capensis...)

Oiseaux: importante zone de transit et d'hivernage pour les oiseaux migrateurs européens; les effectifs moyens en hiver sont de 25 000 Anatidés (11 espèces, principalement Anas penelope), 45 000 Limicoles (19 espèces régulières où dominent Calidris alpina, Limosa limosa, Charadrius hiaticula et Tringa totanus) et de 1500 à 2000 Phoenicopterus ruber. Parmi les espèces remarquables ou menacées qui se reproduisent sur la merja, citons Asio capensis, Himantopus himantopus, Recurvirostra avosetta, Vanellus vanellus, Glareola pratincola et Sterna albifrons.

10. Pressions et activités humaines

Huit douars (= 1500 habitations = 7500 personnes) sont actuellement recensés autour de la merja. Les riverains vivent presque exclusivement de la pêche qu'ils pratiquent dans la merja ou de la vente de nattes de joncs tressés qu'ils récoltent dans le schorre.

Par ailleurs, on enregistre l'afflux de très nombreux estivants durant les 3 mois d'été; ces personnes se cantonnant dans le village de Moulay Bou Selham ne pratiquent leurs activités (motonautisme, voile, camping...) qu'au niveau du goulet.

La pollution due à l'urbanisme est très faible, mais aucune étude n'a été faite sur les pesticides qui sont certainement charriés par le canal du Nador et l'oued Drader.

Depuis 1978, la Merja Zerga est incluse dans un périmètre mis en Réserve Biologique. La chasse, autrefois très importante, n'y est donc plus pratiquée. Par contre, la pêche et la récolte des joncs sont autorisées aux riverains selon des restrictions précises.

Quelques projets sont à l'étude: le développement de l'aquaculture et la construction d'une route rapide côtière menant de Larache à Kenitra.

La lagune est inscrite sur la convention de Ramsar.

1.1.b. SEBKHA BOU AREG (lagune de Nador)

1. Géographie et morphologie

Localisation (figure 1.3): Province de Nador (Maroc), 35°07'-35°16'N, 02°44'-02°56'W. Altitude: 0 m.

Surface: bassin de drainage: 1000 km², mal structuré et en cours d'aménagement. Surface de la lagune: 150 km² dont 75% d'eau libre.

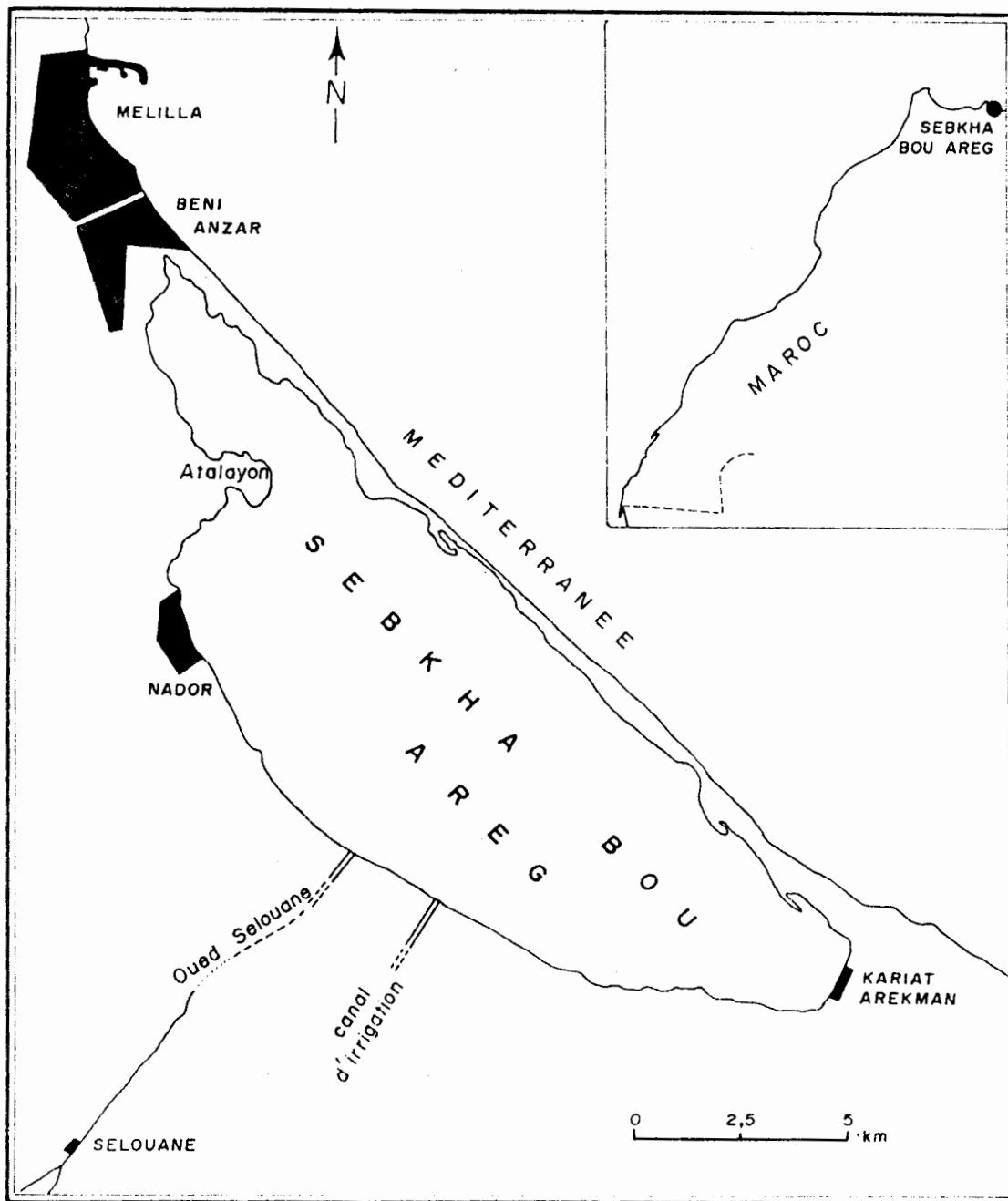


Fig. 1.3 Sebkhah Areg (Nador)

Paysage: Plaine alluviale.

Morphométrie: Forme allongée; longueur maximum (NW-SE) = 25 km; largeur maximum (NE-SW) = 7,5 km.

Profondeur variant entre 7 et 0,5 m.

2. Géologie et climat

Géologie: L'ensemble géologique local est caractérisé par l'opposition entre un avant-pays atlasique et les lambeaux d'une nappe d'affinité rifaine. Des formations plus récentes recouvrent ou bordent ces ensembles. La lagune est séparée de la mer Méditerranée par un cordon dunaire quaternaire qui peut atteindre par endroit 20 mètres de hauteur.

Climat: Code type: Csag (figure 1.4)

Vents: Entre décembre et avril les vents de secteur Ouest et Sud-ouest dominant; leur fréquence annuelle est de 23,3% tandis que leur vitesse moyenne est de 3,4 m/s. De mai à novembre ce sont les vents soufflant de l'Est et du Nord-Est qui dominent; leur fréquence annuelle est de 35% et leur vitesse moyenne de 4,2 m/s mais, lors de tempêtes, ils peuvent atteindre 12,5 m/s.

Précipitations: La moyenne annuelle est comprise entre 420 mm (Melilla) et 310 mm (Nador, seulement 240 mm depuis 1976). Il pleut de l'automne jusqu'au printemps avec un pic à chaque saison: octobre, février et avril. Les minima de pluie s'échelonnent de juin à septembre.

Température de l'air: la température moyenne mensuelle est de 17,7°C. La valeur moyenne des minima est de 13,1°C tandis que celle des maxima est de 22,3°C.

3. Hydrographie et hydrologie

La Sebkhia Bou Areg est un milieu où les modifications hydrologiques sont particulièrement rapides. Cette instabilité est due à deux phénomènes principaux: une passe non permanente et l'arrivée récente (depuis 1970 environ) d'effluents d'eau douce relativement importants (230 à 500 . 10⁶ m³/an).

Autrefois sursalée (salinité entre 40,5 et 37,9 ‰ en 1961, passe entretenue artificiellement et arrivée d'eau douce très faible), la Sebkhia Bou Areg tend actuellement à une dessalinisation (comblement, voire fermeture de la passe, calibrage de petits oueds et installation d'exutoires de canaux d'irrigation dans la portion SW).

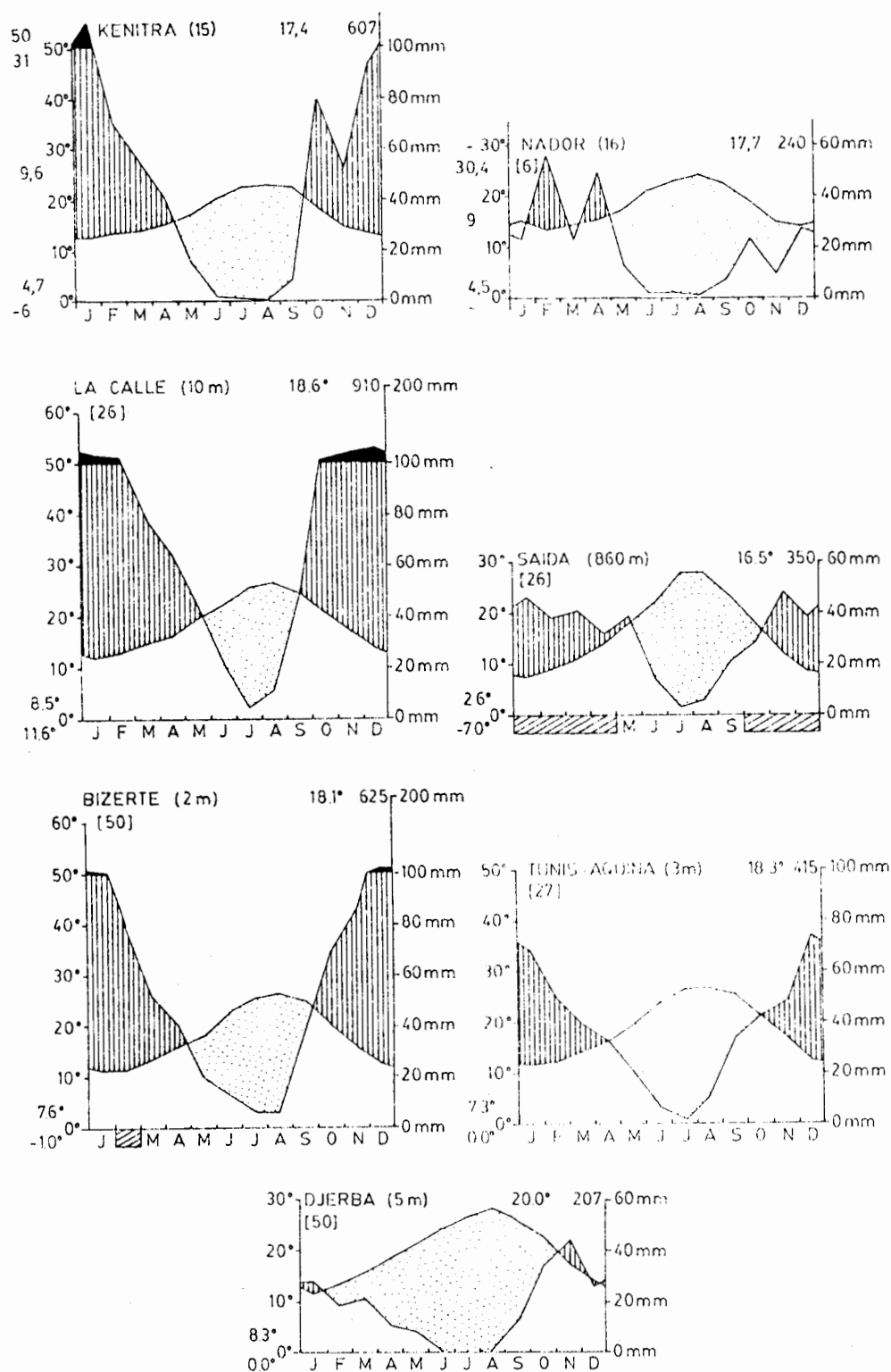


Fig. 1.4 Diagrammes climatiques de localités du Maroc, d'Algérie et de Tunisie (d'après Walter & Lieth 1960-67).

4. Caractères physico-chimiques

		Maximum	Minimum
Température	Surface	26,1	15,0
(°C)	Fond	25,5	15,1
Salinité	Surface	35,5	30,2
(°/oo)	Fond	35,3	31,0
Oxygène dissous	Surface	6,4	4,6
(ml/l)	Fond	6,5	3,0
Rapport N/P	Surface	1,2	0,2
	Fond	1,5	0,25

5. Macrophytes

Schorres à Salicornia sp., prairies de Zostera marina entre 1,5 et 3,5 m de fond, prairie rase de Posidonia caulinii au-delà de 3,5 m.

6. Phytoplancton: aucune donnée disponible

7. Invertébrés

De 0 à 1,5 m de fond, peuplement d'Actinies avec des Echinodermes (Paracentrotus lividus) dans les zones rocheuses. De 1,5 à 3,5 m, faciès à Holothuries avec de fortes concentrations locales.

Principales espèces rencontrées: Crustacés (Penaeus keratulus, Leander serratus, Carcinus moenas...); Mollusques (Pectunculus sp., Cardium tuberculatum, Venerupis decussata, Macra sp., Pinna nobilis, Sepia officinalis et Octopus vulgaris...)

8. Poissons

On y trouve la plupart des poissons marins diadromes méditerranéens et, lors des périodes de communication avec la mer, on constate l'entrée de poissons marins. Lozano-Cabo (1953) et Aloncle (1961) signalent plus de 60 espèces de poissons parmi lesquelles Pagellus mormyrus, Mullus barbatus et M. surmuletus, Mugil (5 espèces), Sparus aurata et Anguilla anguilla présentent un intérêt économique.

9. Autres vertébrés

Avifaune nicheuse comportant des espèces rares dans la région (Recurvirostra avosetta, Himantopus himantopus, Sterna hirundo, S. albifrons). Hivernage de Phoenicopiterus ruber (jusqu'à 500), d'Anatidés et Foulques (environ 3000 dont Tadorna tadorna, Anas penelope, Mergus serrator, Fulica atra...) et de Limicoles (Haematopus ostralegus, Limosa limosa, Charadrius alexandrinus, Tringa totanus...).

10. Pressions et activités humaines

Avant la construction (en cours) du port de Beni Anzar, extérieur à la Sebkhia, la passe était artificiellement entretenue et la pêche (en mer ou dans la lagune) importante, portant sur des espèces de grande valeur commerciale. Le comblement progressif de la passe et son obstruction complète en 1981 ont entraîné le repli des pêcheurs sur le port de Beni Anzar, et les activités humaines sur le plan d'eau sont aujourd'hui très réduites.

Aucune mesure de pollution n'a été réalisée dans la lagune, mais elle atteint son maximum aux abords immédiats des villes de Nador et Kariat Arkman. Par ailleurs, le débouché récent de canaux d'irrigation doit entraîner dans la lagune les pesticides utilisés en agriculture. Enfin, signalons la présence d'une usine métallurgique (avec bassin de déversement dans la lagune) faisant partie d'un grand complexe sidérurgique en cours d'installation dans la région.

Notons en outre que le schorre ceinturant la côte Ouest de la lagune est en train de disparaître devant l'extension de la ville de Nador (19 357 habitants en 1960 et près de 50 000 aujourd'hui) associée à une explosion du développement des zones cultivées sous l'impulsion d'un Office de mise en valeur de la région.

Un projet est en cours pour étudier les possibilités d'y développer une aquaculture.

1.1.c. LAC OUBEIRA

Le plus grand lac naturel oligo-halin du Maghreb. Il fait partie du complexe lacustre et marécageux d'El Kala, au pied des collines du NE de l'Algérie, dans une plaine séparée de la mer par un cordon dunaire (figure 1.5). Le climat d'El Kala (La Calle) s'applique également aux quatre plans d'eau pris en compte ici: L. Oubeira, L. Tonga, L. Melah, Garaet el Mkhada (figure 1.4).

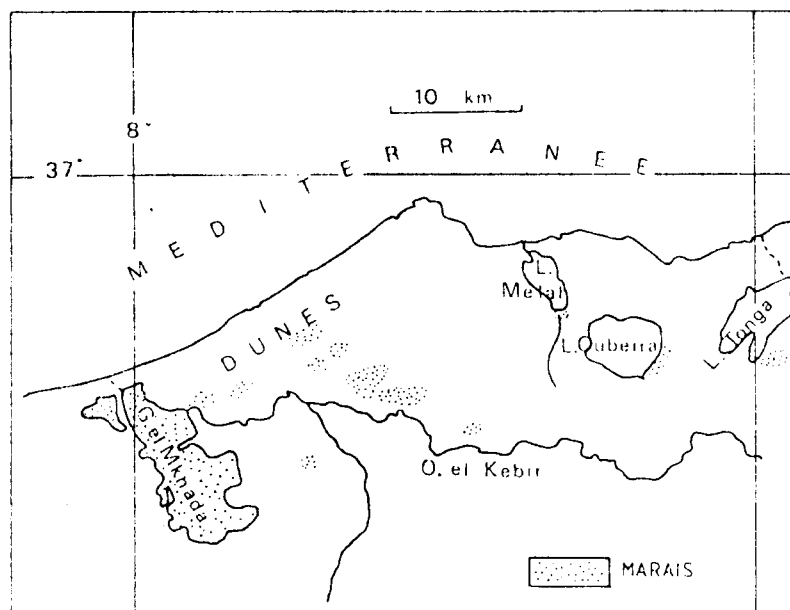


Fig. 1.5 Complexe de lacs et marécages de la Kala

1. Géographie et morphologie

Situation: NE de l'Algérie, 36°50'N, 08°23'E

Altitude : proche de la mer

Distance à la mer: 3 km

Surface: 2100 ha d'eau libre.

Des collines gréseuses avec un maquis dense et des chênes-liège forment le bassin versant.

Profondeur maximale 3 m, variations saisonnières 2,5 m. Fonds de sable et d'argile recouverts de vase. Longueur 6 km, largeur 3 km.

2. Hydrographie

Un chenal, qui débouche dans le sud-est du lac, alimente le lac en hiver lorsque la crue de l'Oued el Kebir inonde le marais qui les sépare. A la décrue de l'Oued, il se forme un courant de retour qui est maintenant arrêté par des portes construites pour retenir l'eau dans le lac.

3. Physico-chimie

Température de 11 à 12°C en hiver (janvier 1977) supérieure à 30° en été. pH 7,2 à 7,6.

Lors des coups de vent, l'eau est colorée par des suspensions organiques brunes qui proviennent du sédiment.

Salure de l'ordre de 100 mg/l (19.01.1977) à 300 mg/l (4.03.1957), eau sulfato-chlorurée calcique.

Stratification occasionnelle de courte durée.

4. Macrophytes

Quelques Phragmites communis sur la côte ouest; 90% des fonds sont occupés par un herbier où Myriophyllum et Ceratophyllum dominent. Trapa natans, rare en Algérie, a été signalé par Gauthier (1928) et Ledant & van Dijk (1977).

5. Phytoplancton: peu dense.

6. Invertébrés

Gauthier (1928) signale Diaptomus numidiens, Diaphanosoma brachyurum et Moina en abondance. Seuls Simocephalus et Eurytemora ont été observés en janvier 1977.

Paleomonetes varians (dominant), Hirudo medicinalis, des Coenagrinidae, Libellulidae, Cloeon dipterum, des Nepidae, Hydrophilidae et Chironomidae sont importants dans le zoobenthos. Les gastéropodes cités par Gauthier (1928) n'ont pas été observés en janvier 1977.

La diversité de cette faune invertébrée, incluant de nombreuses espèces dulçaquicoles souligne l'intérêt de ce lac.

7. Poissons

Trois espèces de Muges, Anguilla anguilla, Atherina sp. et Alosa viennent de la mer dans le lac en hiver via l'Oued el Kebir. Gambusia affinis a été introduit.

8. Autres vertébrés

Site d'hivernage important pour les migrateurs, en particulier Anas penelope, Aythya fuligula pour lequel le lac est le site le plus important, selon Ledant & van Dijk, et pour A. ferina, Fulica atra, Podiceps ruficollis et P. nigricollis.

9. Activités humaines

Peu de tourisme et densité d'habitants faible sur le bassin versant. Le lac est exploité par une pêche commerciale. L'inclusion de la seule côte ouest dans les projets de parc national d'El Kala a été proposée par Bougazelli et al. (1977).

1.1.d. LAC TONGA (GARAET MTA EL HOUT)

1. Géographie et morphologie

Situation: Algérie, 36°51'N, 08°30'E.

Surface: 2000 ha dont 3% en eau libre; s'assèche chaque été jusqu'à 3 mois entre août et novembre.

Profondeur maximale: 1,5 m

Même type de bassin versant que le lac Oubeira, avec maquis et bande côtière utilisée en pâturages (figure 1.5).

2. Hydrographie

Alimenté par les pluies et des oueds temporaires. Emissaire vers la mer également temporaire. Des essais de drainage par un canal vers la mer ont été abandonnés parce que le fond du lac est proche du niveau de la mer.

Climat: voir L. Oubeira

3. Physico-chimie

Température de l'eau proche de la température moyenne de l'air; (10°C le 18 janvier 1977).

Salure équivalente à 0,4 g/l, pH proche de la neutralité.

4. Macrophytes

Le lac est en fait un marécage pour 97% de sa surface, avec Scirpus lacustris dominant, Phragmites communis, Typha sp., Iris pseudacorus, Glyceria maxima, Sparganium erectum, Schoenoplectus et Alisma

plantago-aquatica. Les chenaux et l'eau libre ont également une riche flore immergée. Lotus sp. est également signalé.

5. Invertébrés

Dans le zooplancton, Ceriodaphnia megops domine, accompagné de Metacyclops minutus et Myxodiaptomus incressatus. Le benthos est très diversifié, incluant Hirudo medicinalis, des Ostracodes, Asellus sp. et de nombreuses larves d'insectes. Les gastropodes sont également plus divers que dans les autres plans d'eau douce d'Algérie.

6. Poissons: Seul Anguilla anguilla a été signalé.

7. Autres vertébrés

Anas penelope et A. clypeotra hivernent. Le lac Tonga est également un site important de reproduction notamment pour Porphyrio porphyrio et Oxyura leucocephala.

8. Activités humaines

Population peu dense sur le bassin mais chasse active en hiver. Le quart nord du lac est inclus comme réserve de chasse dans le projet du Parc National d'el Kala par Bougazelli et al. (1977).

1.1.e. LAC MELAH

1. Géographie et morphologie

Situation: Algérie, 36°53'N, 08°20'E;

Altitude: 1 m; situé près de la mer, entre des dunes fossiles, dans une vallée ancienne, barrée par les dunes et envahie par la mer. Fonds sableux (figure 1.5);

Surface: 879 ha;

Dimensions: 4 km du N au S, 2 km de largeur

Profondeur: 6 m.

2. Hydrographie

Alimenté en hiver par les oueds el Aroug et el Melah au S, et se déversant dans la mer, au N par un étroit goulet.

Gauthier (1928) signale que l'influence de l'eau douce des oueds se maintient jusqu'à 200 mètres devant leur embouchure. Le 20 janvier 1977, la salure au milieu du lac était de 8,5 g/l. En été, les oueds s'assèchent, le niveau s'abaisse par évaporation et l'eau de mer entre dans le lac. La salure augmente, mais un gradient nord-sud est maintenu par les apports de la nappe phréatique sous les dunes.

3. Macrophytes

Ruppia cirrhosa, Ceratium et les Rhodophycées dominant. Marais à Juncus maritimus au sud. Tapis algaires à proximité du chenal endigué qui relie le lac à la mer.

4. **Phytoplancton:** peuplement alterné, fonction de la salinité et de l'influence des oueds.

5. **Invertébrés**

En janvier 1977, seul Daphnia était présent dans le zooplancton. Cerastoderma edule abonde en hiver, avec Corophium sp., Gammarus sp., Sphaeroma, Hydrobia et Pisidium. Gauthier (1928) et Bougazelli et al. (1977) signalent également des Polychètes, Paleomonetes varians, Carcinus mediterraneus et Talorchestia deshayesei en été. Oligochètes, Chironomides et Hydracariens sont présents près des arrivées d'eau douce.

6. **Poissons**

Faune diversifiée, d'origine principalement marine, avec pêche de Muges, de Dicentrarchus labrax, Solea et Sparus aurata. Rendement de 50 kg/ha en 1971. Gambusia holbrooki a été introduit.

7. **Autres vertébrés**

Site d'hivernage pour des nombres importants de Fulica atra, Aythya fuligula, A. ferina, Podiceps cristatus, P. ruficollis et P. nigricollis.

8. **Activités humaines**

Faible densité de population sur le bassin versant. Il est envisagé de développer l'exploitation actuelle de la pêche et des essais de conchyliculture sont en cours.

Le lac est inclus dans le projet du Parc National d'el Kala.

1.1.f. GARAET EL MKHADA

1. **Géographie et morphologie**

Situation: Algérie, 36°48'N, 08°00'E;

Altitude: 1 m;

Surface: 89 km², l'un des derniers grands marécages d'Afrique du Nord situé sur une plaine d'inondation argileuse orientée et séparée de la mer Méditerranée par une ligne de dunes (figure 1.5). Traversé par une voie ferrée.

Profondeur: moyenne, de l'ordre de 30 cm, variable.

2. **Climat**

Pluie moyenne annuelle 750 mm, évaporation 980 mm (voir figure 1.4).

3. Hydrologie

Le marais est alimenté par trois oueds, O. Bou Namoussa, O. Chourka Garaet et O. el Kebir. Ce dernier, le plus important, a sa source dans les massifs montagneux de Kroumirie à la frontière algéro-tunisienne.

Les variations saisonnières du niveau de l'eau sont bien marquées, avec inondation pendant la première partie de l'année et assèchement presque total de juin à novembre. Il subsiste cependant des mares comme l'indique la présence de genres tels que Gammarus qui ne peuvent résister à un assèchement complet.

Un court exutoire est situé à l'extrémité ouest de la garaet et rejoint la mer à travers le cordon dunaire.

Climat: voir L. Oubeira.

4. Physico-chimie

L'eau est douce à oligo-haline. Une observation du 21 janvier 1977 donne une salinité de 4,6 g/l et une température de 17°C.

5. Macrophytes

La végétation émergente couvre plus de 90% de la surface du marais. En hiver, une zone périphérique d'eau libre résulte du broutage par les troupeaux, et des chenaux dans la végétation mènent jusqu'au centre. Les macrophytes comprennent de nombreuses espèces parmi lesquelles Scirpus littoralis, S. lacustris, S. maritimus, Phragmites communis et Juncus sp. sont abondants et dominants dans diverses régions. La végétation submergée est aussi abondante, aussi bien en eau libre que dans les zones de macrophytes émergents, avec notamment Myriophyllum sp., Chara sp., Nitella sp., Ruppia sp., Callitriche sp., Zannichellia palustris et Ranunculus sp. On trouve également Tamarix par endroits ainsi que Lemna minor.

6. Invertébrés

Des Oligochètes, Gammarus marinus, des Corixidae, Corixa panzeri, Plea sp., divers Odonates, Coléoptères, Chironomides, Epiphydra sp. et des Hydracariens ont été observés.

7. Poissons

Plusieurs espèces de Mugilidae, anguilles, ainsi que Cyprinodon fasciatus et Atherina sp.

8. Autres vertébrés

Site d'hivernage pour de nombreux canards plongeurs, pour Fulica atra, et l'un des rares plans d'eau du Maghreb où Anser anser (jusqu'à 8000 individus) passe l'hiver. C'est également un site

important de reproduction pour Bubulcus ibis, d'autres hérons, Aythya nyroca, Circus aeruginosus, Rallus aquaticus et Podiceps ruficollis.

9. Activités humaines

Peu d'habitants autour de la Garaet el Mkhada, mais chasse active l'hiver.

Contrairement à la plupart des autres marais d'Afrique du Nord, celui-ci n'a pas encore été drainé, ce qui fait son intérêt pour la conservation de la flore et de la faune, et contribue sans doute à la grande richesse des macrophytes présents.

Pêche de muges (M. cephalus, L. saliens, L. labrosus) et d'anguille.

1.2. LAGUNES COTIERES DE TUNISIE par Jacques LEMOALLE

Les lagunes côtières constituent, en Tunisie, l'essentiel des plans d'eau naturels permanents. Les sebkhas (ou chotts) côtières ou intérieures, sont des plans d'eau temporaires, soumis aux variations saisonnières et interannuelles de précipitations (figure 1.6).

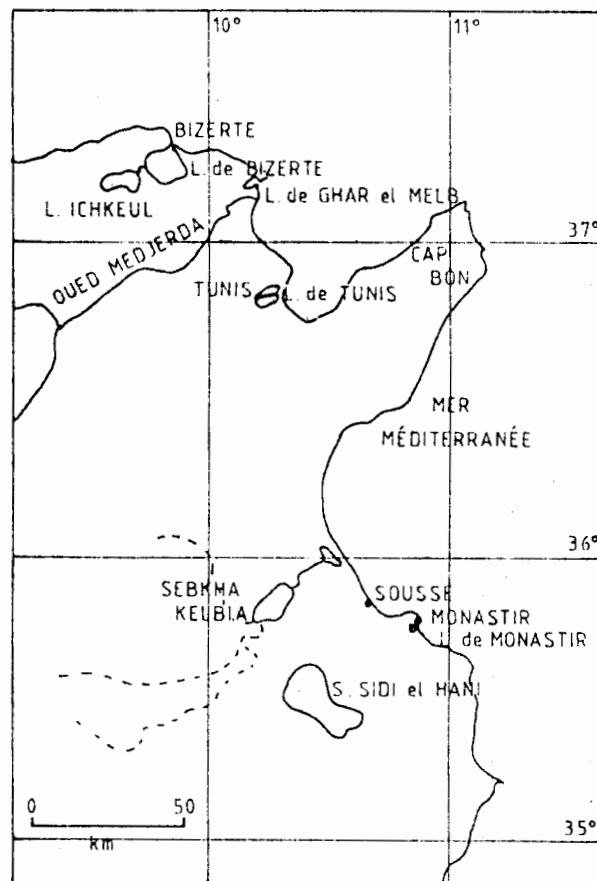


Fig. 1.6 Lacs, lagunes et sebkhas du Nord tunisien

L'exploitation par l'homme des deux types de milieu est également très différente: continue et ancienne dans les lagunes, notamment pour la pêche, elle est beaucoup plus épisodique dans les sebkhas: pêche à la S. Kelbia, exploitation d'évaporites à la S. el Melah à Zarzis.

CLIMAT GENERAL

Les lagunes tunisiennes sont réparties entre 37°10' et 33°15'N. Le climat est caractérisé par des étés chauds et des hivers pluvieux, un vent moyen notable (4 à 5 m/s) et, surtout, une importante variabilité interannuelle de la pluviométrie, le coefficient de variation atteignant 70% dans le Sud.

La pluviométrie moyenne annuelle décroît du N au S de la côte tunisienne (614 mm à Ichkeul, 228 mm à el Bibane). Les diagrammes climatiques de Bizerte et Zarzis (figure 1.4) sont très sensiblement représentatifs de ce gradient. Cette influence zonale est cependant tempérée par l'influence marine: les différences d'humidité ou de température (fig. 1.4) le long de la côte sont relativement limitées, comparativement aux différences entre la région côtière et l'intérieur du pays où les températures extrêmes sont plus accusées, et l'humidité beaucoup moindre.

1.2.a. LAC DE GHAR EL MELH

1. Géographie et morphologie

Situation: N de la Tunisie, entre Bizerte et Tunis: 37°10'N, 10°10'E. Bordé par le village de Ghar el Melh (ex Porto Farina), et par l'extrémité de la dorsale tunisienne (334 m) (figure 1.7).

Surface: 26,1 km²; longueur: 7 km; largeur: 4,5 km (pour la lagune principale).

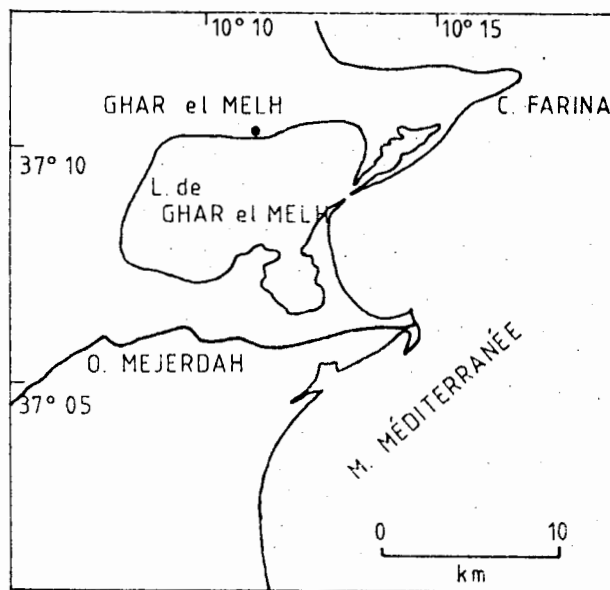


Fig. 1.7 Lac de Ghar el Melh

Profondeur : max. 2 m, moyenne 1 m. Cette profondeur a diminué sensiblement au cours des derniers siècles, mais tend à se stabiliser après la régularisation du cours de la Medjerdah. Cordon littoral avec une passe de 70 m de large, mais peu profonde (1 m). Fond de vase sableuse. Marécages dans l'Ouest.

Les affluents sont des petits ruisseaux et des canaux de drainage. Anciennement, les crues de la Mejerdah se déversaient en partie dans la lagune.

2. Géologie

Formé par les alluvions récentes de la Mejerdah, reposant sur des formations quaternaires et sur des grès et marnes du Pliocène. Zone de subsidence actuelle. La lagune actuelle, qui fut autrefois la baie d'Utique, est séparée de la mer par un cordon littoral âgé de moins de 1200 ans.

3. Climat

Moyenne annuelle des précipitations (1931-1960): 576 mm, maximum en janvier (114), minimum en juillet (0,6).

Vent NW en automne-hiver, NE ou SE en été.

Evaporation (Piche): 189 mm en juillet, 70 mm de décembre à février.

Températures moyennes mensuelles: 11,7°C en janvier; 28,7° en septembre.

4. Hydrologie

Variations saisonnières de niveau liées à celui de la mer, avec une légère augmentation due aux pluies d'hiver.

5. Hydroclimat

Température moyenne: 18,5°C; max. 27,4°C; min. 9,7°C. Salinité plus forte qu'en mer en été (39 à 46 ‰) et plus faible en hiver (25-37), avec des valeurs plus extrêmes dans les zones bordières.

Composition: semblable à l'eau de mer.

Oxygène: pas d'anoxie observée.

6. Macrophytes et phytoplancton

Macrophytes: Phragmites communis, Zostera marina sur la majeure partie du fond, également Ulva lactuca, Enteromorpha sp. et Cladophora sp. Pas de données sur le phytoplancton.

7. Invertébrés

Faune dominée par les mollusques, bivalves (Cerastoderma glaucum) et gastéropodes (17 espèces citées). Polychètes: Ficopomatus enigmaticus, Sphaeroma sp.

8. Poissons

Les sédentaires sont de petites espèces marines (12 spp.). Les migrateurs marins comportent 25 espèces communes plus 7 accidentelles.

9. Activités humaines

La régularisation et la canalisation de la Mejerdah limitent les apports de sédiments et stabilisent la lagune. Des éléments nutritifs sont apportés par le drainage d'une zone agricole très active.

La pêche, organisée en coopérative, utilise essentiellement les filets trémails et les palangres, avec des barques de pêche côtière et lagunaire. Le village de Ghar el Melh abrite 420 marins, soit 11% de la population.

Production lagunaire estimée à 62 ± 20 t/an. Les Muges (M. cephalus surtout) représentant plus de la moitié des captures, Anguilla 15%, Dicentrarchus 8%.

1.2.b. LAC ICHKEUL

1. Géographie et morphologie

Situation: N de la Tunisie, Gouvernorat de Bizerte, au NE de la plaine de Mateur (figure 1.6); $37^{\circ}17'N$ et $09^{\circ}40'E$.

Surface: 89 km^2 en été, env. 100 km^2 en hiver.

Bassin versant: 2200 km^2 dans une zone de forêt dégradée à oléolentisques. Lac orienté E-W (14 km), largeur de 5 à 6 km, avec extensions marécageuses en hiver.

Collines au N et à l'W; un massif abrupt, émergeant de la plaine de Mateur forme la côte S: le Djebel Ichkeul (510 m).

Altitude du fond: - 1,25 m NGT (niveau moyen mer 0,15 m NGT).

Niveau en été: ONGT, en hiver généralement supérieur à 1 m NGT (niveau maximal 2,7 NGT).

Profondeur moyenne en été: 0,9 m.

2. Géologie

Le bassin est entouré de roches crétacées à récentes, le matériel étant encore peu consolidé: calcaires, roches gypseuses, argiles. Le Djebel Ichkeul, qui se dresse dans la plaine de Mateur et forme la rive S du lac s'est formé par diapir au Vindobonien. Il est constitué de roches métamorphiques plus dures: schistes calcaires, dolomite et marbre.

3. Climat

Voir données climatiques générales sur la Tunisie (figure 1.4).

Pluviométrie moyenne (1952-1976): 614 mm/an, avec une année sur 10 égale ou inférieure à 435 mm.

Humidité relative: 80% en été, supérieure en hiver.

Amplitude thermique journalière: $10^{\circ}C$ en été, moins forte en hiver.

4. Hydrographie et hydrologie

Les apports par les rivières (271.10^6 m^3 annuels) sont dus principalement à l'Oued Sejnane (44%) et à l'Oued Joumine (38%). En hiver, ils excèdent l'évaporation, et un courant d'eau se dirige vers la mer à travers l'Oued Tinja et le lac de Bizerte. En été, l'évaporation excède les faibles apports continentaux et l'eau de mer pénètre dans Ichkeul par l'Oued Tinja.

L'évaporation annuelle en bac est de 1800 mm, et estimée pour le lac à 1300 mm (Hollis 1979).

5. Hydroclimat et chimie

Température semblable à la moyenne de l'air.

Composition dominée par les influx d'eau de mer.

Le brassage fréquent dû au vent crée en général une homogénéisation verticale et horizontale de la masse d'eau. Avec remise en suspension des argiles du fond et faible transparence (disque de Secchi compris entre 5 et 80 cm).

Salinité: 1 à 3 g/l en fin d'hiver; 30 à 33 g/l en fin d'été

6. Macrophytes et phytoplancton

Potamogeton pectinatus occupe près de la moitié du lac en été. Phragmites communis sur la ligne de rivage. Ruppia près de l'O. Tinja; Scirpus lacustris dans les marécages.

Composition du phytoplancton non connue. Biomasse entre 5 et 30 mg.m^{-3} de chlorophylle a (été 1981).

7. Invertébrés

Sphaeroma hookeri et Nereis diversicolor importants près des rivages particulièrement en été.

Faune benthique plus diversifiée dans la partie orientale, proche de l'influence marine. Hydrobia ventrosa, Ammonia beccarii, Cyprideis forosa, Conopeum seurati, Cerastoderma glaucum sont présents partout (Zaouali 1975).

8. Poissons

Muges (M. cephalus et M. ramada) et A. anguilla dominant, entrent à l'état de juvéniles et repartent en mer se reproduire.

Dicentrarchus labrax, Solea vulgaris et Syngnathus abaster sont également présents.

9. Autres vertébrés

Lutra lutra rare, Bubalus bubalis en semi-liberté. La tortue Clemmys leprosa est fréquente, ainsi que Rana ridibunda, Bufo viridis et Natrix maura (Hollis 1979).

Le lac et ses marécages sont une zone d'hivernage pour beaucoup d'oiseaux d'Europe: plus de 70 espèces y sont observées, dont certaines en grand nombre: Anser anser, Anas penelope, Aythya fuligula, Fulica atra hivernent. Jusqu'à 90 000 individus de Aythya ferina. Nicheurs: Oxyura leucocephala, Himantopus himantopus, Acrocephalus arundinaceus, etc.

10. Activités humaines

Le lac, ses marécages et le Djebel Ichkeul constituent un parc national, situé en aval d'une plaine agricole en cours d'aménagement et proche de deux villes industrielles: Menzel Bourguiba (5 km) et Bizerte (20 km). Des sources chaudes attirent les curistes qui campent sur les flancs du Djebel.

La construction de barrages sur les principaux affluents, Joumine et Sejnane modifiera prochainement les équilibres hydriques et salin du lac, et donc son intérêt comme parc national. Des mesures conservatoires sont à l'étude.

La pêche est gérée par l'Office National des Pêches. Les captures ont lieu à la bordigue sur l'Oued Tinja, aux trémails dans le lac pour les muges (68%) et avec des nasses pour l'anguille (25% des captures). Prises totales: 128 tonnes/an, soit 13,5 kg/ha avec une forte variabilité interannuelle.

1.2.c. LAGUNE DE MONASTIR

1. Géographie et morphologie

Situation: Au S de la ville de Monastir, Tunisie, 35°45'N, 10°45'E (figure 1.8).

Dimensions: N-S: 3 km, largeur: 0,5 km.

Surface: 173 ha.

Une bande sableuse de 100 m de large est prolongée au sud par une digue qui rejoint la berge. Deux communications avec la mer, au Nord et au Sud, reliées par un chenal de 2 à 2,5 m de profondeur. Le reste de la lagune a une profondeur inférieure à 0,5 m.

En 1983, de grands travaux ont été entrepris pour installer une station d'aquaculture.

2. Climat et géologie

Située au fond d'une baie peu profonde comportant de nombreux hauts fonds, bien protégée des vents dominants.

A l'origine, une flèche sableuse orientée N-S protégeait un plan

d'eau peu profond (0,5 m) où se sont installées des salines. La lagune proprement dite a été créée en 1952 par la construction d'une digue, au sud, qui a individualisé le plan d'eau

Précipitations: environ 500 mm par an. Climat intermédiaire entre celui d'Ichkeul et celui de Jerba (figure 1.4).

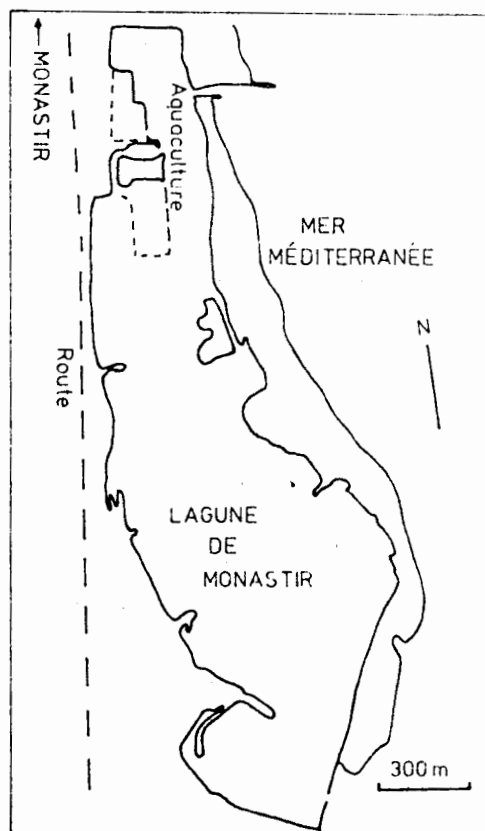


Fig. 1.8 Lac de Monastir

3. Hydrographie et hydrologie

Marnage de 0,45 m maximum, parfois amplifié par le vent. Apports d'eau douce par ruissellement superficiel.

4. Physico-chimie

Température moyenne mensuelle 12,8°C en janvier, 28°C en juillet (1977-78).

Oxygène influencé par le benthos, 60 à 130% de la saturation. Salinité 40 à 50 ‰.

5. Benthos

Biocénose de sable vaseux de mode calme.

Herbier à Cymodocea nodosa en faible profondeur, et Caulerpa prolifera dans les chenaux (1978).

6. Poissons et pêche

Production annuelle moyenne de 34 kg/ha, au moyen de bordigues et filets. Les muges (M. cephalus, L. aurata, L. saliens, L. labrosus) et les sparidés (S. aurata, L. mormyrus) dominent.

7. Activité humaine

Située en bordure de la zone industrielle de Monastir, la lagune a été utilisée en saline, puis en pêche avec quelques bassins d'élevage. Elle est ensuite (1984) le siège d'une importante station d'aquaculture. Les travaux de terrassement et le creusement de chenaux ont sensiblement modifié ses caractéristiques.

1.2.d. BAHIRET EL BIBANE (LAGUNE EL BIBANE)

1. Géographie et morphologie

Situation: côte du S de la Tunisie, approximativement centrée sur 33°15'N et 11°15'E. (figure 1.9).

Surface : 230 km². Bassin versant en grande partie inactif. Bassin ovale allongé, d'axe WNW-ESE de 32 km, plus grande largeur d'environ 10 km. En liaison aux deux extrémités avec des sebkhas (plaines supratidales).

Volume moyen : 934.10⁶m³, profondeur maximale 6,8 m, profondeur moyenne 4 m, le niveau moyen est celui de la mer.

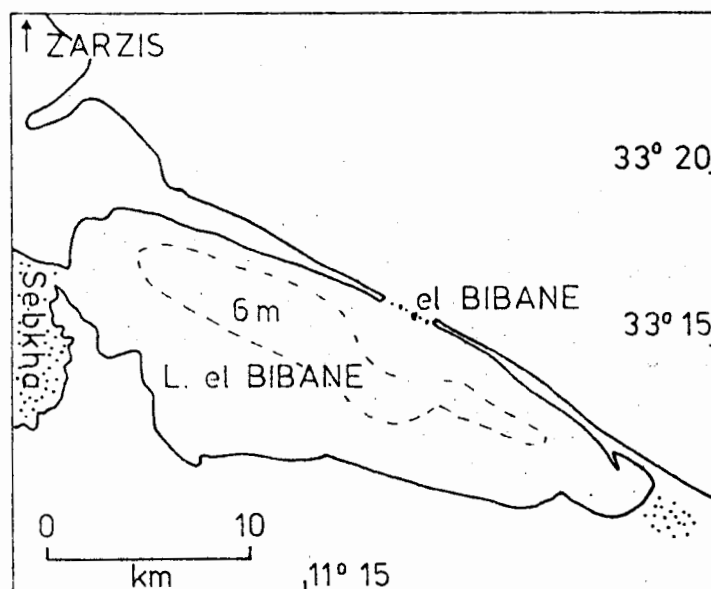


Fig. 1.9 Lagune el Bibane

La lagune est séparée de la mer par un cordon dunaire calcaire fossile. La partie centrale de ce cordon est scindée sur environ 2,5 km en une série de 9 petits îlots séparés par des passes (Bibane

signifie portes en arabe). Sur la plus grande de ces îles (3 ha) entourée des deux passes les plus profondes, se trouve la pêche qui exploite un barrage de pêche en grillage. Toutes les autres passes sont barrées par des murs en pierre.

2. Climat et géologie

La lagune el Bibane est séparée de la mer par un cordon littoral fossile de calcaire oolithique tyrrhénien. Son aspect actuel daterait de la transgression flandrienne de 9000 ans BP (Medhioub 1979).

Rayonnement global incident 1971. $10^4 \text{ Jm}^{-2}\text{d}^{-1}$ (année 1980) en moyenne annuelle; max. en juillet ($2960.10^4 \text{ Jm}^{-2}\text{d}^{-1}$), min. en décembre ($1017.10^4 \text{ Jm}^{-2}\text{d}^{-1}$); insolation (1980): 6,1 h.d⁻¹ novembre; 12,6 h.d⁻¹ juillet.

Vent NNW en hiver, SE en été; moyenne annuelle $5,5 \text{ ms}^{-1}$ sans variation saisonnière des moyennes mensuelles. Les vents violents sont cependant plus rares en été (380 km.d^{-1} en juillet 1982 et 570 km.d^{-1} en avril 1982).

Moyenne annuelle des précipitations (1901-1950): 207 mm et (1960-80) : 228 mm; avec un coefficient de variation interannuel de 70%.

Evaporation réelle du plan d'eau estimée à 1800 mm/an.

Température annuelle de l'air (1981): min. en janvier $9,9^\circ\text{C}$, max. en août $27,7^\circ\text{C}$. Amplitude journalière en été de 10°C .

Les conditions climatiques sont semblables à celles de Jerba (Houmet Essouk) et de Zarzis (figure 1.4).

3. Hydrologie

Les apports de l'unique tributaire, l'oued Fessi, irréguliers en volume et en fréquence, sont estimés à 10^7 m^3 en moyenne, mais peuvent être nuls certaines années. Avec les précipitations (52.10^6 m^3) les apports d'eau douce ne compensent pas l'évaporation. Le bassin est donc hyperhalin.

Des évaluations approximatives permettent de situer à environ 6.10^9 m^3 l'eau qui entre et ressort chaque année de la lagune sous l'effet des variations de niveau de la mer (marée et oscillations du niveau moyen). Les apports d'eau douce sont donc peu importants à long terme mais, comme pour l'évaporation, sont nettement discernables pour les variations saisonnières.

L'amplitude de la marée en mer est de 5 à 40 cm. Elle se traduit par une oscillation en lagune d'amplitude généralement inférieure à 2 cm.

Par contre, les variations du niveau marin moyen, dues aux conditions atmosphériques, atteignent 40 cm et sont transmises sans amortissement notable à l'intérieur de la lagune.

4. Physico-chimie

Température de l'eau: elle suit très exactement la température moyenne de l'air: maximum en août entre 28 et 30°C, minimum en janvier entre 6 et 11°C.

Transparence: mesurée au disque de Secchi (DS), variable entre 1,5 et 6 m. Relation entre (DS) et K d'atténuation du spectre visible: $K(DS) = 1,7$ pour DS compris entre 3 et 6 m.

Salinité (période 81-82):

<u>ZONE</u>	<u>FIN DE L'ETE</u>	<u>FIN DE L'HIVER</u>
Centrale	45 à 45,5	42 à 43,5
N.W.	46,5	43
S.E.	48,5	43,3

Alcalinité: 2,5 - 2,8 mq/l, minimum en été, maximum au printemps.

Composition en ions majeurs: proche de celle de la mer, avec légère augmentation du rapport Mg/Ca dans la zone ouest (Medhioub 1979).

Phosphore: PO_4 réactif dissous le plus souvent inférieur à 1.10^{-6} g P/l, sauf lors de stratification estivale (4 à 10.10^{-6} g P/l).

Oxygène: proche de la saturation dans l'ensemble de la masse d'eau. Oscillations diurnes d'environ 30% près du fond en été (herbiers); anoxie prononcée près du fond en stratification estivale.

Mixité: stratification estivale occasionnelle.

5. Macrophytes et phytoplancton

Les macrophytes émergents sont absents. Par contre, environ 80% des fonds sont recouverts d'herbiers. Cymodocea nodosa se rencontre partout, avec des densités fortes dans les profondeurs moyennes. Caulerpa prolifera s'associe à Cymodocea. Vers les extrémités de la lagune, on trouve également Lithothamnium sp. ou Ruppia maritima avec des algues filamenteuses (Cladophora et Chaetomorpha sp). Des petites prairies à Posidonia ont également été signalées.

Le long du cordon littoral, et principalement dans la région nord-ouest, affleure une frange coralligène à Neogoniolithion notarisii.

La concentration du phytoplancton est généralement faible ($0,3$ à 2 mg Chla m^{-3}), sauf lors de périodes sporadiques de stratification estivale où on a observé jusqu'à 10 mg m^{-3} en relation avec une anoxie près du fond avec décomposition des herbiers. La systématique de ce phytoplancton n'a pas été étudiée.

6. Invertébrés

La macrofaune benthique (tamis de 1 mm) est inégalement distribuée avec une plus grande richesse spécifique dans le centre (50 espèces) que vers les extrémités (20 espèces). Pour l'ensemble de la lagune,

les mollusques comportant essentiellement des Pélécypodes (45%) dominant pondéralement (Guelorget et al. 1982, pour le printemps 1980). Lorsque seuls les plus grands de ces organismes benthiques sont pris en compte, les répartitions sont sensiblement différentes (Zaouali 1982).

7. Poissons

Peuplement marin diversifié: plus de 60 espèces dont 20 d'importance commerciale. Importantes migrations de reproduction (Sparus aurata) ou trophiques vers la mer.

8. Oiseaux

Hivernage de petits limicoles et présence fréquente d'une centaine de Phoenicopterus ruber.

9. Activités humaines

Traces d'occupation néolithique et romaine.

Densité humaine dans la région: 10 à 20 hab./km². Un seul village de pêcheurs/agriculteurs sur le bord de la lagune, Jedaria. La gestion de la pêche est assurée par un organisme public, l'Office National des Pêches, qui exploite le barrage de pêche ainsi que la pêche à la ligne dans la passe, et concède des autorisations de pêche au filet à une soixantaine d'artisans. La production commercialisée est en moyenne de 535 tonnes/an, soit 23 kg/ha dont 60% pour le barrage et 30% pour la pêche privée. Sparus aurata, Diplodus annularis et Solea vulgaris constituent plus de 60% des captures totales (1981-82). Fermeture de la pêche en mars et avril.

1.3. LAC DE TUNIS par Jeanne ZAOUALI

1. Géographie et morphologie

Situation: 36°50'N, 10°10'E; lagune vive de première ligne située entre la ville de Tunis et la mer (figure 1.10).

Superficie de 4500 ha en constante diminution; plan d'eau séparé en deux: lac nord et lac sud (2800 et 1300 ha) par un canal central bordé de digues, creusé en 1885 et joignant la mer (zone de la Goulette) à la ville de Tunis.

Le lac nord communique avec la mer par le canal de Kherredine (1953), le lac sud par le canal de Radès (1928).

Profondeur moyenne: 1 m.

2. Climat et géologie

Mêmes caractéristiques climatiques que celles de Bizerte, avec des pluies légèrement inférieures (figure 1.4).

Le lac s'est formé par fermeture progressive d'un golfe il y a environ 7000 ans, par formation de deux tombolos nord et sud. La sédimentation est d'origine détritique et organique avec dominance de vases noires.

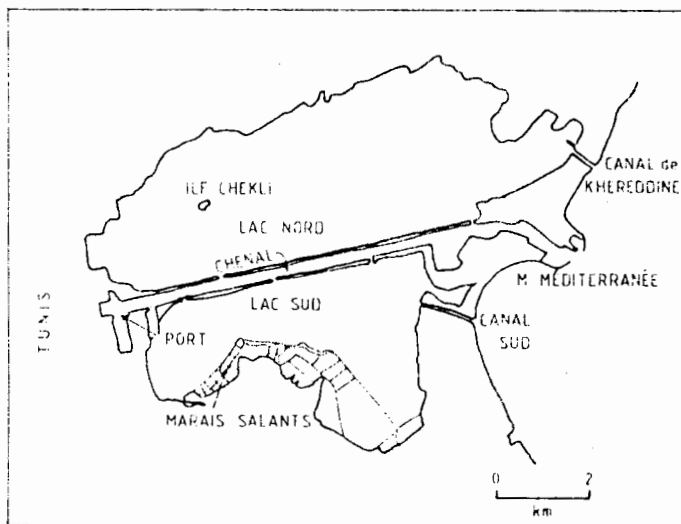


Fig. 1.10 Lac de Tunis

3. Caractères physico-chimiques des eaux

Température moyenne: 19,2°C (9 en février, 30 en août).

Salinité moyenne: lac nord, 38 ‰ (hiver 33, été 43 ‰); lac sud, 42 ‰ (hiver 40, été 45 ‰). Il existe dans le lac nord un gradient de salinité croissante de l'W vers l'E.

Les éléments nutritifs apportés principalement par les eaux de ruissellement urbaines et les rejets d'eaux usées présentent une zonation inverse de celle de la salinité: 8 à $1,5 \cdot 10^{-6}$ atg/l PO_4-P ; 5 à $0,2 \cdot 10^{-6}$ atg/l NO_2-N ; 11 à $2 \cdot 10^{-6}$ atg/l NO_3-N .

Très forte teneur des sédiments et des eaux en hydrogène sulfuré, notamment dans le lac nord (milieu très fortement eutrophisé, Stirn 1968).

4. Caractéristiques biologiques

Bactéries: Très importante biomasse liée au cycle sulfato-réducteur; crises anoxiques estivales dans le lac nord aboutissant à la formation "d'eaux rouges" et mortalité de poissons (estimée à 100 tonnes en 1983).

Plancton: Phytoplancton: deux blooms (printemps et automne). Zooplancton: abondant (étudié par Heldt 1929 dans le lac nord).

Benthos: Dans le lac nord dominance d'Ulva lactuca et Ficopomatus enigmaticus.

Biomasse moyenne annuelle des macrophytes: 860 gm^{-2} (1975-76) constituée à 75% par Ulva (Belkhir & Hadj Ali Salem 1981).

Dans le lac sud: dominance d'Ulva lactuca et Cerastoderma glaucum (Zaouali 1974).

Poissons: dominance d'Anguilla anguilla et des Mugilidae (essentiellement Mugil cephalus, Chelon labrosus et Liza ramada), pour les migrateurs et Aphanius fasciatus pour les sédentaires.

Oiseaux: très nombreux passages et séjours hivernaux notamment des Cormorans et des Flamants roses (présence attestée depuis le début du 17^e siècle (de Brèves 1628)).

5. Interventions humaines

Permanententes depuis le 8^e siècle (creusement d'un canal à la mer au niveau de la Goulette et d'un chenal vers Tunis).

Dans le lac nord, présence de deux usines thermo-électriques rejetant leurs eaux dans la lagune; construction d'un canal d'assainissement dans la zone proche de Tunis; projet de comblement de près du quart du lac en vue d'y installer une zone résidentielle. Dans le lac sud, présence de deux salines; mise en place d'un port occupant environ le quart de la superficie du lac; construction en cours d'une usine thermo-électrique (canal de Radès).

Pêche: 8 "bordigues" (pêcheries fixes, Chauvet 1981); production annuelle moyenne de 500 tonnes.

1.4. COASTAL LAGOON OF LIBYA AND DELTA LAKES OF EGYPT by Jacques LEMOALLE (Libya) & Massoud A.H. SAAD (Egypt).

1.4.a FARWA LAGOON

1. Geography

Situated in the extreme NW of The Arab Republic of Libya, at 33°05'N, 11°45'E (see figure 1.11).

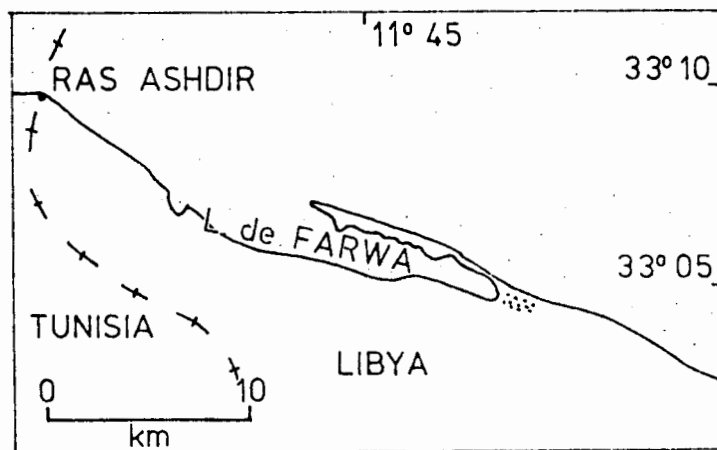


Fig. 1.11 Farwa Lagoon

Surface area 25 km², length 12 km, maximum width 2.5 km, width of the opening to the sea 2.5 km.

Drainage area negligible, but connected with supratidal sebkha. This lagoon which is rather a deep bay with its axis parallel to the coast, is separated from the sea by a fossil dune bar similar to that of el Bibane.

Mean depth 1 m; Z_{max} at the entrance 6 m.

2. Climate and geology

This lagoon is situated about 30 km from the Lagoon el Bibane and its climate and geology are very similar.

3. Hydrography and hydrology

Tidal range 0.8 m at spring tide, 0.2 m at neaps. No inflow, freshwater inputs are limited to rain and runoff from the banks. Occasional exchanges with a supratidal sebkha.

4. Hydroclimate

Water temperature 10°C in winter, 28°C in summer.

Composition: seawater with a relative deficit in Ca compensated by Mg.

Salinity: 40.2 - 43.1 ‰

Alkalinity: 2.38 meq/l (June) to 3.0 meq/l (winter).

Nitrogen: NH₄ 0.11 - 1.2.10⁻⁶ mole/l (min. in winter);

NO₂ 0 - 5.10⁻⁶ mole/l (max. in winter);

NO₃ 0 - 8.10⁻⁶ mole/l (max. in summer).

Phosphorus PO₄ - P less than 0.1.10⁻⁶ mole/l

P_{tot} up to 2.2.10⁻⁶ mole/l.

5. Flora and fauna

Posidonia oceanica very dense in the whole lagoon.

Phytoplankton: very diversified diatom - dinoflagellate community.

Floristic list and counting results published (M.R.C. 1982).

Planktonic primary production: mean annual value 2 mgC m⁻³h⁻¹ at the middle of the day; maximum in March.

No data on the fisheries, which are not very active. Mullet are present.

6. Human activity

Population density very low, no industry. Limited fishery on the lagoon itself, but there is a coastal fishery.

Additional reference

Marine Research Center, 1982. Environmental conditions of the Farwa Lagoon during 1981. Bull Marine Res. Center, Tripoli, 1: 23-75.

1.4.b-f. DELTA LAKES OF EGYPT

Five water bodies lie adjacent to the Mediterranean Sea on the fringe of the Nile Delta: Lake Mariut and Nozha Hydrodrome, L. Edku, L. Brollus and L. Manzalah (figure 1.12). The current configuration of these lakes is changing rapidly, due to natural processes and, mostly, to man's activities; fishing, agricultural practices and the construction of the Aswan High Dam in 1964 appear to be the driving forces of a continuous evolution of the Delta Lakes. As a result, the descriptions given here, although using the latest information available to the author, may rapidly become obsolete in some aspects.

Climate

Data for Alexandria are considered representative of the western Delta Lakes (fig. 1.13).

The climate of L. Edku (Saad 1976 b for years 1969-70) is characterised by a dry summer and rain in winter (maximum 57.7 mm during October); evaporation: 2.1 - 5.1 mm per day; wind is NW-SE, ranging from 7.4 - 10.7 km/h.

The climate of L. Manzalah is close to that of Damietta. Rainfall occurs in winter, from October to March. Average wind (1967) is 357 km.d⁻¹ (or 4.1 m/s), from N-NW in summer (maximum speed in spring). Relative humidity between 65 and 75% at L. Manzalah.

Insolation: 195 h in December and 380 in July (1957-58).

1.4.b. LAKE MARIUT

1. Geography and morphology

SW of Alexandria, separated from the sea by a limestone ridge (figure 1.14).

Altitude: -3 m

Initially an elongated lake with an area of 110 km²; area reduced by half between 1950 and 1980, now about 27.3 km² for L. Mariut proper.

Water depth: 0.9 - 1.5 m.

Sediments of silt and clay with shells.

Mostly fed by drainage water (Qalaa drain).

Outflow: water pumped to the sea.

2. Physico-chemical characteristics

From Saad (1973) for the period 1969-70.

Temperature 12.7 - 29.0°C

Transparency 10 -105 cm, Secchi disc.

pH: 7.3 - 9.7. Low pH near industrial inputs.

Total residue: 1,758 - 11,434 mg/l

Chloride 1.09 - 2.63 g/l (but 1.5 - 6.5 g/l in 1960).

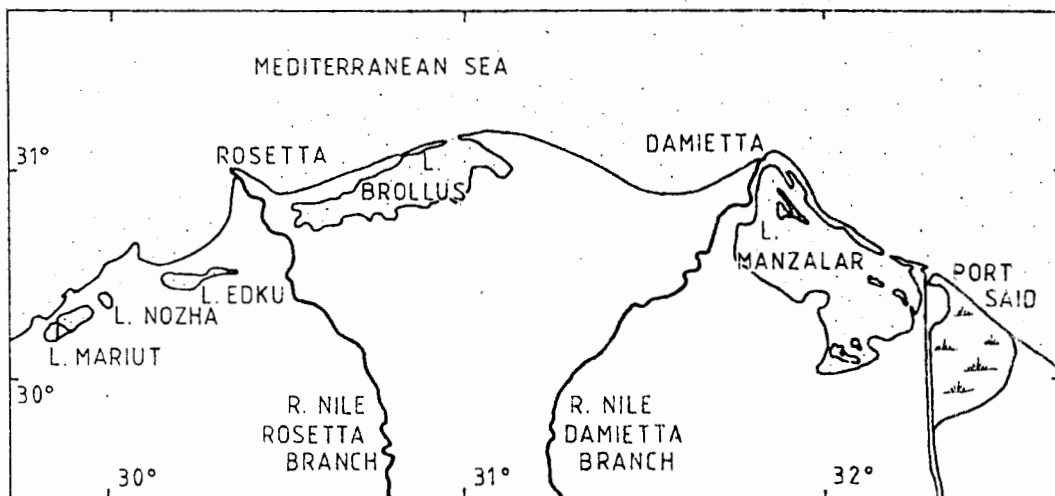


Fig. 1.12 Nile Delta lakes

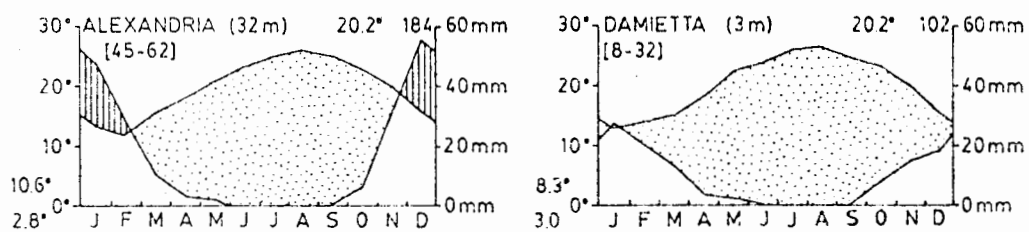


Fig. 1.13 Climatic diagrams for the Nile Delta (after Walter & Lieth 1960-67)

Several occasions of O₂ depletion due to organic matter decomposition

Phosphate: 2.3 - 10.9 mg PO₄/l (Saad 1973)

Silica: 8.2 - 15.9 mg SiO₂/l

Nitrite: 108.6 - 659.7.10⁻⁶ g NO₂/l (Saad 1980)

Pesticides: 2.1 ppb Lindane, and DDT compounds with high values near drainage water (Saad et al. 1982).

Mixing regime: wind action in this shallow lake prevents any stable stratification.

3. Macrophytes

The lake shores, particularly along the southern part, near the drainage water discharge, are thickly covered with Phragmites communis, Cyperus and Juncus. In general, Najas sp. and Ceratophyllum sp. are abundant in the central region of the lake, whereas fixed vegetation is generally absent (Elster and Jensen 1960).

4. Phytoplankton

L. Mariut is considered highly eutrophic and productive: Production (1960-61): 7.5 gC/m²/d in polluted zone;
5.2 gC/m²/d in central zone.

5. Fish and fisheries

The fishery on the lake proper (27.3 km²) is highly productive yielding 17,000 tonnes per year (6,200 kg/ha); the proportion of Tilapia has decreased (77%) and that of catfish (Clarias sp.) (17%) increased.

6. Human activity and management

The lake is fed by drainage, as well as domestic and industrial waste water.

Evidence of pesticide and heavy metals accumulation in fish (Saad 1973b, 1973c, 1980; Saad et al. 1982; Elster & Jensen 1960).

1.4.c. NOZHA HYDRODROME

The Nozha hydrodrome was isolated from L. Mariut in 1939, it is now surrounded by a concrete embankment 9 km in length, and used as a fish farm.

1. Geography and morphology

Situated east of Alexandria airport; 3.3 km in length and 2.4 km wide, area 4.8 km² (figure 1.14).

Altitude (bottom): - 3.65 m

Mean depth: 3 m

Main water supply from Rosetta branch of the Nile via Mahmoudia canal

Lake sediments: silty clay with shells in the central zone

2. Physico-chemical characteristics

Temperature: close to mean air temperature: 15.5°C (January 70) to 27.5°C (September)

Secchi disc.: 37 - 51 cm

pH: 7.45 - 8.85

Chloride: 0.12 - 0.48 g/l controlled by Nile water discharge and evaporation.

Oxygen: well oxygenated, average monthly observations between 6.3 and 10.7 mg/l.

Total residue: 488 - 6,134 mg/l

Alkalinity: 2.1 - 4.3 meq/l

Nutrients: 45 - 720.10⁻⁶ g PO₄/l, 12.4 - 52.3.10⁻⁶ g NO₂/l, 8.2 - 15.9.10⁻⁶ g SiO₂/l.

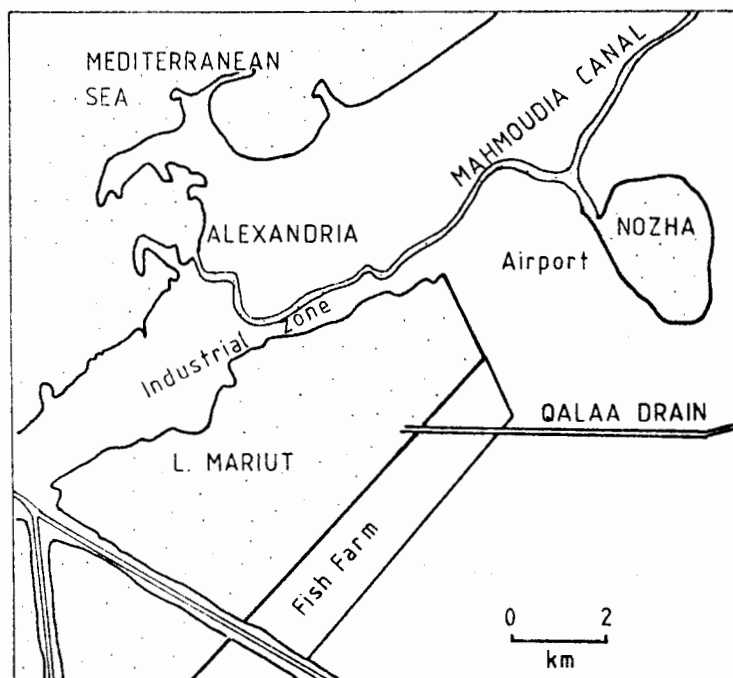


Fig. 1.14 Lake Mariut and Nozha Hydrodrome

3. Macrophytes, Zooplankton, Benthos

The following brief biological information was obtained from Elster and Jensen (1960). Potamogeton pectinatus formed a belt along the shore line and P. crispus was present in restricted areas. Najas armata covered about 70% of the total lake area. Arctodiaptomus salinus and Diaphanosoma excisum dominated in the zooplankton, whereas Mesodopsis slabberi and Leander squilla were common. The only bottom fauna occurring in considerable amounts were Corophium volutator and C. multisetosum, Gammarus locusta and G. oceanicus.

4. Human activity

The lake is used as fish farm, and all Nile fishes, especially Tilapia sp. are cultured in it (Saad 1973a).

1.4.d. LAKE EDKU

1. Geography and morphology

Situated half way between Alexandria and the Damietta Branch of the Nile, 30 km to the NE of Alexandria (figure 1.15).

Area 126 km², a great proportion of which is covered with macrophytes. Many islets dividing the lake into several regions.

Depth: from 0.5 to 1.5 m

Sediments: muddy in the S and SE, where drainage water discharges into the lake; sandy mixed with silty material at the N and NW borders.

2. Hydrology

Increasing drainage inputs with progress of time. Exchange of water between the lake and the sea through Bougaz el Maadiah, with sea water inflow during winter.

3. Physico-chemical characteristics

For the year 1969-70 (Saad 1976)

Water temperature 14.5 - 28.5°C (January and August)

pH: 7.63 - 9.50

Cl⁻: 0.44 - 23.24 g/l; controlled by drainage and sea water influx.

Alkalinity: 183 - 235 mg/l

Total residue: 1,096 - 45,182 mg/l

PO₄ - P: 9 - 840.10⁻⁶ g PO₄/l;

NO₂: 4.9 - 204.10⁻⁶ g NO₂/l;

SiO₂: 0.6 - 7.5.10⁻⁶ g SiO₂/l (Saad 1978)

4. Macrophytes

According to Nasr et al. (1963), Eichhornia crassipes and Ceratophyllum demersum formed the main cover of the lake area, where fresh or slightly brackish water dominated. Potamogeton pectinatus and P. crispus predominated in areas with relatively higher salinities. The growth of these plants may be so dense as to hinder navigation.

5. Fish and fisheries

During year 1982, percent amounts in total catch were: Tilapia sp. 82%, A. anguilla 10% and Mugil sp. 6%.

1.4.e. LAKE BROLLUS (see Darrag 1974, Saad 1976, 1979)

1. Geography and morphology (from Saad 1976, 1979)

This second largest delta lake is situated in the northern part of the Nile Delta (figure 1.16).

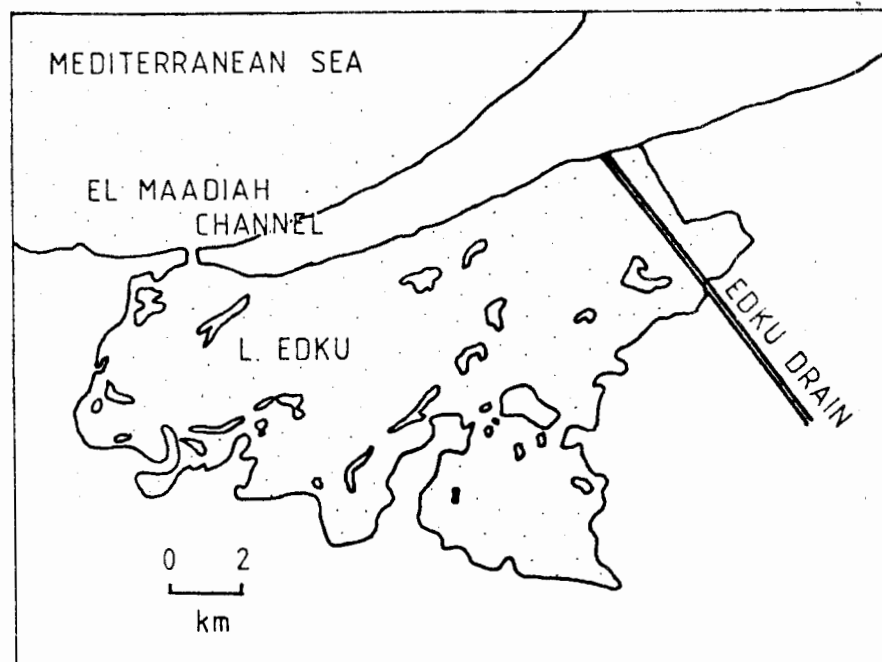


Fig. 1.15 Lake Edku

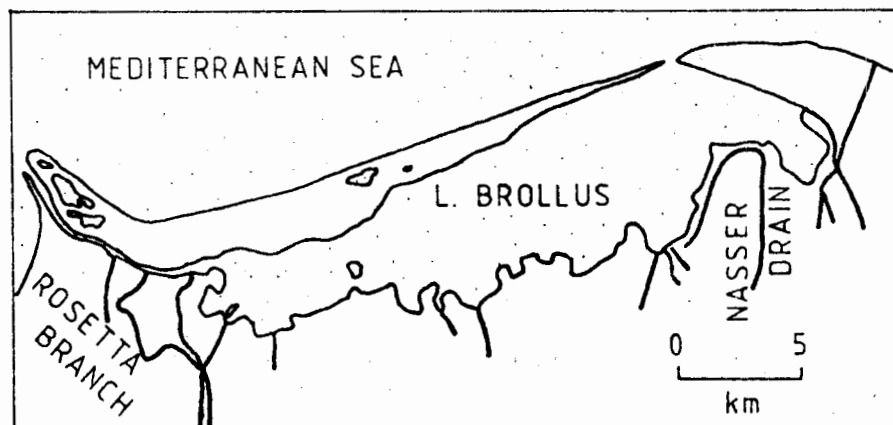


Fig. 1.16 Lake Brollus

Area about 7,100 ha, depth 0.7 - 2.4 m

Changes in the water level expose or flood extensive parts of the lake shores.

The northern border is separated from the sea by a strip of land covered with sand bars and dunes, and the southern shore is irregular.

2. Hydrology (from Saad 1976, 1979)

Large amounts of drainage water enter into the lake via seven drains on its southern border. These plus other water sources (small amounts of fresh water from Rosetta branch of the Nile, rainfall and seepage of underground water) cause the lake level to rise inducing a flow from lake to sea. As in case of Lake Edku, exchange of water between Lake Brollus and the sea occurs through a narrow channel. The lake bottom varies in structure from sandy mixed with silty material in the region of the lake-sea connection to muddy at the southern side of the lake.

3. Physico-chemical characteristics (from Darrag 1974 for the period 1970-71)

Water temperature 11.0°C (February) to 29.5°C (August)

Secchi depth 8 - 37 cm

pH 8.08 - 8.72; O_2 2.7 - 11.8 mg/l;

Cl^- 0.36 - 13.5 g/l, controlled by drainage and sea water inputs.

The values of dissolved phosphate, nitrate, nitrite and silicate varied from depletion to $1.74 \cdot 10^{-6}$ g-at/l, from depletion to $240 \cdot 10^{-6}$ g-at/l, from depletion to $73 \cdot 10^{-6}$ g-at/l and from 125 to $399 \cdot 10^{-6}$ g-at/l respectively.

4. Flora and fauna

Darrag (1974) reported some biological information on the lake: Phragmites communis dominated the emergent plants, Potamogeton pectinatus and P. crispus constituted over 90% of the submerged plants, Ceratophyllum demersum and Eichhornia crassipes were generally found drifting in all drains, causing a severe problem for the lake. Lemna gibba formed a mat on the surface of stagnant water. In the phytoplankton, diatoms dominated. The dominant zooplankton species belonged to the Copepoda, Cladocera and Decapoda. About 30 fish species were found in the lake, with different tolerances towards the salinity.

1.4.f. LAKE MANZALAH

The largest of the delta lakes, with a marked evolution towards lower salinity and strong nutrient inputs during the past 60 years, due to increase in agricultural drainage inflows (figure 1.17).

1. Geography and morphology

Located 31°15'N, 32°E between the Damietta branch of the Nile, to which it is connected by the small Enaneya canal, and the Suez

canal. It has several connections to the sea, the largest being El Gamil. Inputs by numerous drains on the SE coast, the most important being Bahr el Bagar drain ($1.7 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{year}$) and Hadous drain ($3.3 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{year}$).

Water area decreasing with time from $1,700 \text{ km}^2$ during early 1900's to $1,260 \text{ km}^2$ in 1960. Present open water area: 900 km^2 (1980). Dimensions: $64 \times 49 \text{ km}$.

Mean depth: 1 m

Numerous islands, enclosures and fish farms

Evaporation: 1.5 to 2 m/year

Sediments: silty clay with high organic content (1 to 7%) on the periphery; mixed sand-clay-silt in central region.

Phosphorus content of sediment: 0.016 to 0.1%

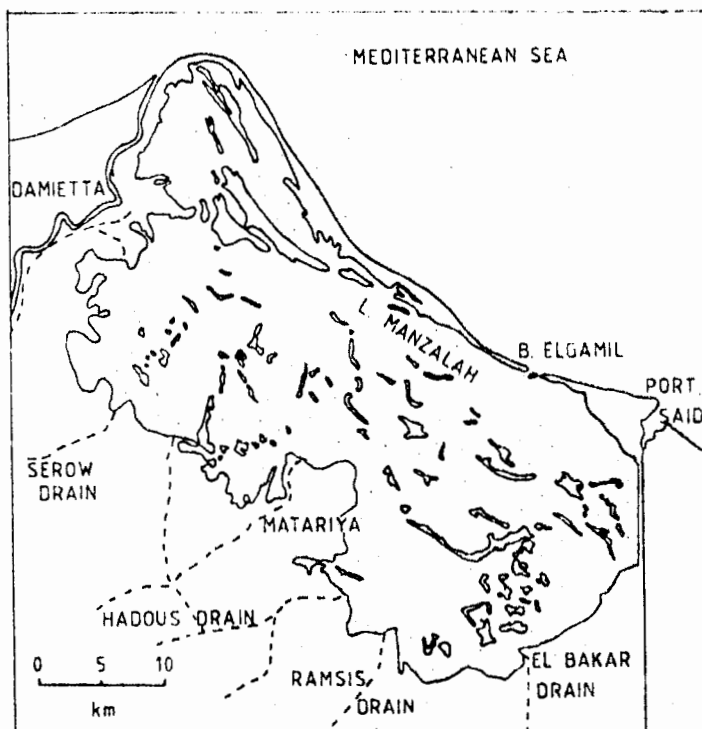


Fig. 1.17 Lake Manzalah

2. Physico-chemical characteristics

Pronounced N-S and less pronounced E-W salinity gradients, and increasing eutrophication since 1960 by the S-E drains.

Mean salinity decreasing from 1921-26 (16.7 g/l) to 1962-63 (9 g/l) and now 2.9 g/l due to restriction of lake-sea connections and drainage inputs. Range 2 - 15 g/l.

Salinity is lowest after peak drainage inflow in September and October.

Oxygen low during night in S sector, elsewhere over 5 mg/l at all times.

PO_4 - P: 0.129 mg/l annual mean (1979)

NO_2 - N: 0.627 mg/l annual mean

Nitrogen is depleted in spring while phosphate remains always lower than $15 \cdot 10^{-6} \text{ g P/l}$.

3. Macrophytes

Emergents dominated by Phragmites and Typha. The southern half of the lake is covered by Potamogeton pectinatus, P. crispus and Ceratophyllum demersum, with a mean annual production estimated at $1.3 \text{ g/m}^2/\text{d}$, and diurnal variations of pH from 7.5 to 9. Diatom and blue green epiphytes are found on these submerged macrophytes, e.g. Campylodiscus, Mastogloea and Navicula on which feed Gammarus locusta and the small snail Theodoxus nigricans. Eichhornia crassipes is fought by aeral spraying.

4. Phytoplankton

The main species ubiquitous in the lake are Cyclotella meneghiniana, Melosira granulata and Ulothrix sp. About twenty euglenophyte species are indicative of the lake eutrophic status. Primary production $6 - 23 \text{ gO}_2/\text{m}^2/\text{d}$ in the eastern eutrophic zone. Total lake: $2-23 \text{ gO}_2/\text{m}^2/\text{d}$.

5. Zooplankton

Population typically estuarine with nilotic freshwater Cladocera and Copepoda, brackish rotifers and coastal mediterranean forms: Brachionus calyciflorus, Diaphanosoma excisum, Moina micrura present several peaks in the year. Dominants: rotifers in winter, Cladocera in warm season, Copepoda during May and June.

6. Fish and fisheries

Fish catch statistics have increased with eutrophication. Annual figures for 1979-80 amount to 40,000 t for open water fisheries and 20 to 25,000 t for hoshas (enclosures) and fish farms. This is to be compared to 20,000 t in 1960-70. Commercial fish catch is mainly tilapia (85%) in which Sarotherodon niloticus is the most abundant, with S. aureus, S. galileus and T. zillii in smaller numbers. Liza ramada, historically dominant, has decreased to 2% of the total catch.

Also present in the catch: the crustacean Palaemon elegans, Anguilla anguilla, Mugil cephalus, Liza saliens and other marine species in smaller numbers as Dicentrarchus labrax, D. punctatus, Sciena aquila, Sparus aurata. Freshwater species also present include Clarias lazera, Bagrus bayad, Labeo niloticus while Lates niloticus has almost disappeared.

7. Human activities and management

About 17,000 people are fishing the lake, using 4,000 boats. Hoshas are enclosures with small openings, situated in the lake. There also exists a wide variety of enclosures between the water-based and land-based aquaculture. Approximately 143 km^2 of hoshatype enclosures are in operation, managed by 9,000 people. The general evolution has been increased fishing of the lake with decreasing salinity and increased nutrient inputs.

Part of the El Baqar Drain inflows, rich in Cairo sewage water, are being diverted to the close Um el Rish Lake where a similar increase in production and exploitation is starting.

A general danger for the delta lakes lies in coastal erosion which has become rather pronounced since the building of the high Aswan Dam. Thinning of the lake-sea barrier may lead to change in salinity and biota.

1.5. EAUX INTERIEURES D'ALGERIE ET DE TUNISIE

par Neville C. MORGAN & Jacques LEMOALLE

1.5.a. CHOTT ZAHREZ CHERGUI

C'est un exemple intéressant des grands chotts d'Afrique du Nord, à la limite septentrionale du Sahara; il est caractérisé par une altitude assez élevée et une surface inondable importante. Il est complété à l'Ouest par le chott Zahrez Rharbi. Le bassin versant total est de 5000 km².

1. Géographie et morphologie

Latitude: 35°14'N; Longitude: 03°32'E, à environ 160 km au SSE d'Alger (Algérie).

Altitude: 900 m

Surface: 250 km²; la surface en eau maximale observée n'atteint que 66% de la surface totale. $Z_{max} = 3$ m.

Le chott est situé dans les Hauts Plateaux, entre les chaînes de l'Atlas saharien et de l'Atlas du Tell.

C'est une cuvette plane, allongée d'E en W, formée d'un substrat argilo-sableux, bordée au nord par une garrigue halophile, et des dunes de sable au sud. Il y a trois îles principales.

2. Climat

Evaporation moyenne annuelle estimée à 1050 mm par an, et pluviométrie de 280 mm (figure 1.4).

3. Hydrologie et chimie

Pas d'exutoire. Les apports proviennent du ruissellement superficiel, convoyé par les oueds après des orages ou de fortes pluies. Au cours d'une période de 30 mois, la plus grande période en eau a été de 4 mois consécutifs, et la plus grande sécheresse totale a duré 14 mois.

C'est un lac salé dans lequel la concentration augmente jusqu'à la saturation quand le chott s'assèche.

4. Flore et faune

Pas de macrophytes; pas de données sur le phytoplancton.

Pas de poissons. Présence d'Artemia salina. Le chott est probablement utilisé par Phoenicopterus ruber et Tadorna tadorna lorsque les conditions s'y prêtent.

5. Activités humaines

Population rurale dispersée, pas d'implantation importante sur le bassin versant. Broutage sensible par les troupeaux sur la côte nord et cultures clairsemées. Aucune activité sur le chott lui-même.

1.5.b. SEBKHA KELBIA

(D'après les informations du rapport de l'University College, London, édité par B. Wood & T. Hollis 1982)

1. Géographie et morphologie

Centrée sur 35°50'N et 10°15'E, à 30 km à l'Ouest de Sousse (Tunisie). Altitude du fond environ 16 m. Altitude actuelle du seuil aval: 18,7 m.

Surface maximale en eau 110 à 120 km², forme ovale d'axe NE-SW de 15 km sur 8 km de large.

Périodiquement asséché: 31% du temps. Les périodes d'inondation durent en général plusieurs années consécutives. La dernière crue a eu lieu en 1973 et l'assèchement en 1980.

2. Géologie et climat

La géologie récente de la sebkha est dominée par les sédiments quaternaires qui sont partout présents dans cette région de la plaine de Kairouan. Leur lithologie est semblable à celle des sédiments du Pliocène, indiquant des conditions géologiques et sédimentaires constantes depuis deux millions d'années. Le seul élément tectonique important est le pli N-S du Draa es Souatir, formé au Villafranchien, qui est l'expression superficielle d'une fracture profonde.

La pluviométrie, comprise entre 150 et 600 mm, a une moyenne annuelle de 300 mm.

3. Hydrographie et hydrologie

Bassin versant de 14 000 km². Affluents intermittents: O. Nebahna, O. Merguellil, O. Zeroud. La sebkha se déverse parfois par l'O. Sed vers la Sebkhet Halk el Menzel et la mer, lorsque le niveau de l'eau dépasse le seuil (au NE) à 18,7 m d'altitude.

Sans apport de surface, la diminution du niveau, par évaporation est de 1,4 m par an: cette vitesse augmente quand la profondeur diminue.

4. Physico-chimie

Le plan d'eau, temporaire, présente une qualité de l'eau très variable (Zaouali 1976), avec une concentration minimale de 1 à 2 g/l de sels dissous: en ordre décroissant Cl, Na, SO₄, Ca, Mg. En fin d'assèchement, des concentrations de 40 à 70 g/l ont été observées.

5. Végétation

Zonation concentrique des macrophytes en fonction de la salinité et/ou de l'humidité (Wood & Hollis 1982).

Dans l'eau: Althenia filiformis et Arthrocnemum perenne. En bordure : A. perenne, Phragmites communis, Scirpus lacustris et, plus loin, Tamarix. Cette zonation est nette à l'Est et au Nord, moins prononcée à l'Ouest sous l'influence de l'agriculture.

A noter que A. filiformis subit un broutage important de la part des oiseaux.

6. Invertébrés

Cyclopidés et Cladocères, larves de Chironomidae et Culicinae. Ostracodes (Eucypris inflata).

7. Poissons

Les parts respectives de l'immigration naturelle, depuis la mer ou l'amont, et des introductions par l'homme, sont mal définies pour A. anguilla, Mugil cephalus, M. ramada, C. carpio et B. barbus. Gambusia affinis et Fundulus hispanica sont introduits. La biomasse varie en fonction de l'hydrologie; la croissance semble très rapide (Zaouali 1976).

8. Autres vertébrés

Quatre groupes de batraciens et reptiles peuvent être définis suivant les conditions de milieu et les préférences des espèces, toutes communes à la région méditerranéenne.

Hivernants en provenance d'Europe, de septembre à mars. Lorsqu'il y a suffisamment d'eau, jusqu'à 250 000 oiseaux occupent la sebkha, parmi lesquels dominent Anas penelope, A. acuta, A. clypeata, Fulica atra et T. tadorna. C'est aussi un lieu de rassemblement pour Phoenicopterus ruber et parfois la dernière étape pour les migrateurs paléarctiques. Rassemblement pour Grus grus (jusqu'à 5000 individus).

9. Activités humaines

Le pourtour de la sebkha est une zone d'agriculture et d'élevage semi-nomade. La pêche est très variable suivant les inondations, et peut atteindre jusqu'à 80 t/an. Les plus gros poissons atteignent des tailles remarquables (anguilles, mulot, carpes).

L'existence de la sebkha dépend des crues des affluents: une série de barrages construits (Nebahna, Sidi Saad) ou prévus, limiteront les apports, surtout en année normale. Par ailleurs, l'érosion du seuil de l'exutoire limite également les durées et l'extension de l'inondation.

1.6. LAKE QARUN by Mary J. BURGIS

The following information is taken from the papers of Abdel-Malek & Ishak (1980) and Ishak & Abdel-Malek (1980).

1. Geography and morphology

Location: 29°25' - 29°34'N; 30°34' - 30°49'E; in the Fayoum Depression 87 km south of Cairo; it is surrounded by the intensive agriculture of a large oasis.

Altitude: 44 m below sea level.

Area: total area of the lake c. 235 km².

Length: 40 km on SW-NE axis.

Width: maximum c. 9.25 km in western part.

Depth: mean 4.2 m; maximum 8.5 m in the west basin; only 18% of area more than 5 m deep; shallowest in SE area.

2. Climate

Air temperature: ranges from 17°-18°C in December-January to 30°-33°C in July-August.

Relative humidity: 48.9% in June to 75.3% in December.

Rainfall: annual total c. 8.6 mm.

Evaporation: estimates range from 1774-1903 mm per year.

3. Hydrology

The lake lies in an endorheic basin which has been artificially fed with water from the River Nile for many centuries. Today the lake receives only drainage water from the irrigation system via two canals which enter the eastern part of the basin. These supply an average 390×10^6 m³ per year of increasingly saline water.

4. Physico-chemical characteristics

Water temperature: surface: 15°-16°C in January; 28°-30°C in August. There is a daily variation of 4°-7°C but the water column does not stratify.

Transparency: 60 cm near the inflows, 200-300 cm in the western part increases in summer and decreases in winter.

pH: always c. 8.

Alkalinity: c. 200 mg/l CaCO₃.

Salinity: in 1901 the salinity of the lake water was recorded as 13.4‰; by 1953-55 it has risen to 30.6‰ and between 1974-76 rose from 30.9 to 34.5‰. This process of salinization has been accelerated since the closure of the High Aswan Dam on the Nile; artificial fertilisers are used to replace the nutrients formerly supplied by the sediments of the river flood and these raise the salt content of the drainage water entering the lake. The salinity is greatest in the western part of the lake and lowest near the inflow canals.

Nitrates: $40-50.10^{-6}$ g/l.

Phosphates: $0-0.7.10^{-6}$ g/l.

5. Phytoplankton

The phytoplankton is characterised by diatoms and dinoflagellates with the former dominant. Some blue-green algae are also present such as Lyngbya and Oscillatoria. The majority of species are related to those found in the Mediterranean Sea and are presumed to be imported with the fish fry that are stocked into the lake each year.

There are two maxima of phytoplankton abundance, in spring and autumn; the estimates of average organic carbon biomass is 0.36 gC/m^3 .

6. Invertebrates

Zooplankton: the original fresh/brackish water fauna has been replaced by a variety of predominantly marine species although a few rotifers have survived the increasing salinity. The copepod Acartia latisetosa is dominant and constitutes 21-31% of the total zooplankton abundance; it is most abundant in the eastern part of the lake. Many marine larvae such as those of Balanus (Cirripedia) and polychaeta worms are also abundant in the zooplankton.

Benthos: the benthic fauna is dominant by relatively few vigorously growing species of which by far the most abundant are the Mollusca, particularly Cerastoderma glaucum which has an average standing crop of $288.5 \text{ g dry weight per m}^2$ forming 70% of the total average biomass ($413 \text{ g dry weight per m}^2$) of the benthos. The benthic fauna includes many euryhaline marine species such as the polychaete worm Nereis diversicolor.

7. Fish

There are four main species of fish in the lake (Tilapia zillii, Mugil cephalus, M. capito and Solea vulgaris). All were artificially introduced in 1928 and their fry are restocked into the lake each year.

SAHARA
Co-ordinator

SAHARA
Coordinateur

Henri J. DUMONT

2.1. SOUTH MOROCCO AND ZEMMUR

2.1.a. LOWER OUED DRA

1. Geography and morphology

29°N, 11°50'W, sea level. Just north of the town of Tan-Tan, a variable area of permanent, mostly stagnant water. Width of the Oued 5-6 m; depth unknown. Floods used to occur in winter or spring, but have now largely been eliminated by dam-building in the Atlas mountains. The water is saline, probably mesohaline for most of the time, and chloride-dominated, but no analyses were available to this author.

2. Geology and climate

The upper Oued Dra descends from the high Atlas into the Western Sahara, makes a westward loop while seeping under the sands, but reappears at the surface as a saline stream in its lower reaches. The lower Oued Dra cuts a shallow canyon through a low plateau composed of Cambrian rock (Hammada du Dra). The very lowest part runs through Quaternary sands. The climate is of the Atlantic Saharian subtype (Dubief 1971). Köppen: BWa.

Average annual irradiation is c. 7.5 h.d^{-1} , (more than 10 h.d^{-1} in July). Average solar irradiation $17,000 \text{ kJ.m}^{-2}\text{d}^{-1}$. There is a strong predominance of NE and NNE winds, with relatively little seasonal variation. The strongest winds tend to occur in summer. There are about 300 d.a^{-1} with at least some cloud cover, and 10-15 mist days per annum. Rainfall (c. $50-100 \text{ mm.a}^{-1}$) is erratic; maximum during winter.

Mean annual air temperature is c. 19°C , with maximum in September ($14-34^{\circ}\text{C}$), and minimum in January ($5-27^{\circ}\text{C}$).

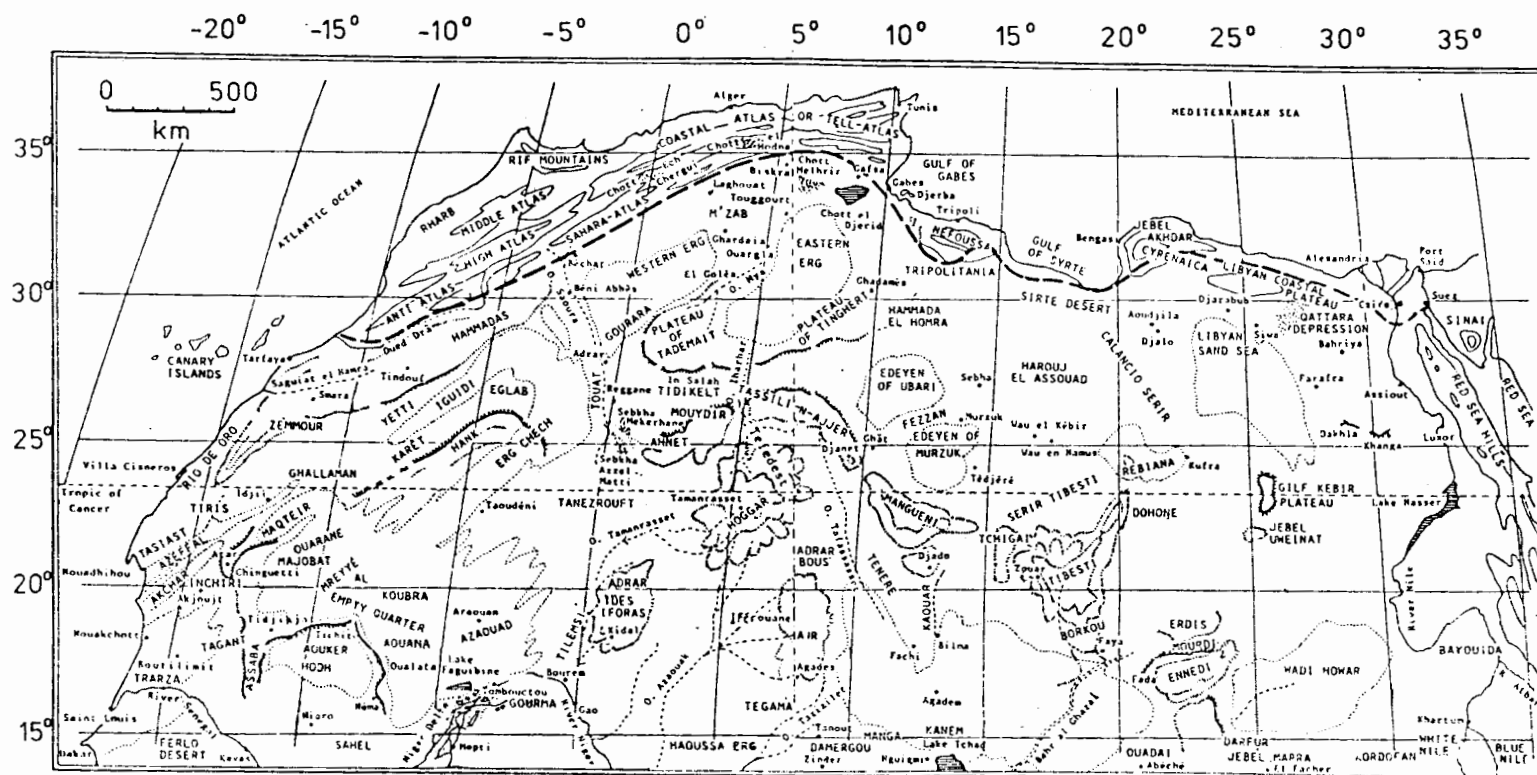


Fig. 2.1 Map of Region 2, Sahara. The broken line indicates the boundary with Region 1, Coastal North Africa.

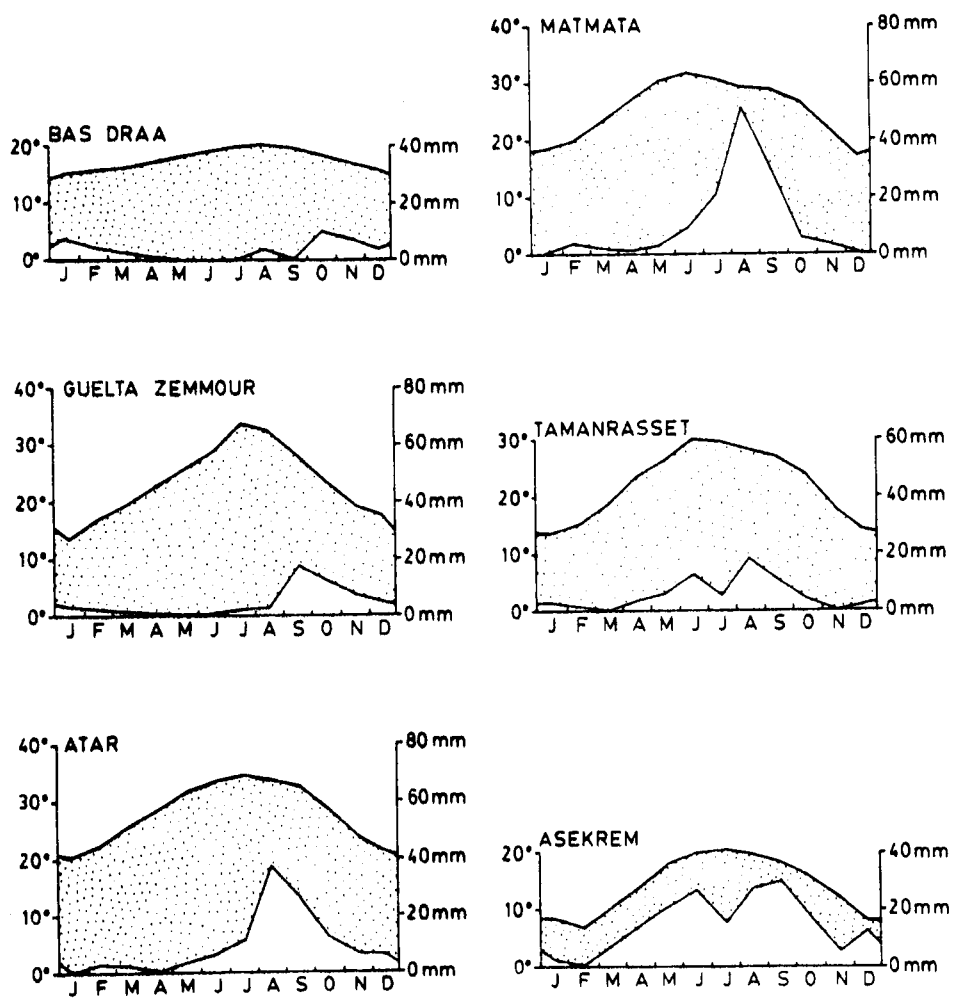


Fig. 2.2 Climatic diagrams for the Sahara

3. Macrophytes

Submerged macrophytes have not been observed; filamentous green algae and Enteromorpha are common. The inundation zone is rich in Salicornia; higher spots are covered with Tamarix.

4. Algae

Compère (1967) gives a list of 25 species of Cyanophyceae and Diatoms, collected in December 1964.

5. Invertebrates

Hydrobia sp. (Mollusca), and shrimps and fairy- shrimps occur. No information on other groups.

6. Fish

Fish have been spotted at Tan-Tan, but no species identifications are recorded. Sightings seem to indicate Mugil sp. rather than freshwater Cyprinids or Cichlids.

7. Human activity: Human use is almost non-existent.

2.1.b. LOWER SAQUIAT EL HAMRA: SPRINGS OF MESSEIT

1. Geography and morphology

In the flanks of the lower Saguiat el Hamra (the "red" canyon), springs are found. The ones at Messeit (27°04'N, 13°09'W) are fairly numerous. Some flow from shallow caves, but most have been diverted into concrete tanks, which are allowed to fill up and are then emptied into a palm tree oasis for irrigation purposes.

2. Geology and climate

The canyon is a fossil river valley several km wide and several hundreds of meters deep. In the Messeit area, it cuts through Neogene surface layers overlying Eocene and Cretaceous rocks. The climate is similar to that of the Oued Dra. The average irradiation is slightly higher (c. 18,000 kJ.m².d⁻¹, with a maximum of 57,000 kJ.m².d⁻¹) in July.

3. Water chemistry

Conductivity was 3600-4200.10⁻⁶S.cm⁻¹ in April 1975.

Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄
90.0	0.4	8.7	4.8	5.8	35.7	60.0 meq.l ⁻¹

The water is saline and, in addition to much chloride, contains a remarkably high amount of sulphates.

4. Macrophytes

The irrigation zone is a typical oasis, with date palms and garden cultures. The springs have no macrophytes, but sedges grow in some of the concrete tanks.

5. Invertebrates

The invertebrate fauna has a number of significant species. The gastropods Hydrobia aponensis (Martens), Melanopsis praemorsa (L.), and Pseudamnicola canovula Frauenfeld have been recorded by Van Damme (1984). Among Crustaceans, the Amphipod Orchestia gammarellus (Pallas) was found (Monod, pers. comm.). This is the southernmost record of a surface living amphipod in North African inland waters. Among Copepoda and Cladocera, Daphnia similis Claus, and Halicyclops troglodytes Kiefer should be cited (see Dumont & Van de Velde, 1976). Rotifers (Dumont & Coussement, 1976), Nematodes (Grootaert, 1976), and Oligochaetes (De Henau & Dumont, 1977) are also documented. Among the insects, only dragonflies have been studied. Three species occur, one of which is the desert damselfly Ischnura saharensis (Aguesse).

6. Vertebrates: None recorded.

7. Human activity

The oasis is uninhabited, yet is exploited for garden cultivation. A surfaced road, connecting El Aioun (Lajoun) to Semara, runs nearby and used to bring tourists on visits from the Canary Islands to the oasis. This activity ceased in 1976.

2.1.c. GUELTA ZEMMUR

1. Geography and morphology

The guelta (20°09'N, 12°24'W) is found in an area of rather low mountains, cut by river valleys into a number of shallow gorges of modest dimensions. The canyon in which the guelta is situated has a SW-NE orientation. It is exclusively rainwater-fed and at one time in the 1950's it was nearly dry (Valverde 1957). Refilling occurred as a result of torrential rains. The pool is triangular, with longest side c. 60 m. When the guelta is full maximum depth is c. 6 m. Flood frequency is not documented in the literature, but is probably not yearly. Because of its periodical drying, the guelta is only semi-permanent and thus houses no fish. Because it is periodically flushed out, on the other hand, its water remains fresh.

2. Geology and climate

Rocky outcrops of Devonian age, tilted to an angle of c. 20° at the site of the guelta, are cut through by a small oued. The guelta is in a typical situation, at the foot of a former waterfall (photograph in Dumont & Van de Velde, 1975). The climate is of the Subatlantic Saharian subtype (Dubief, 1971), and Köppen Bwa. Mean

annual insolation is 9.5 h.d^{-1} . There are about 100 cloudless days per annum, and no mist days. Mean annual solar irradiation is c. $20,000 \text{ kJ.m}^2.\text{d}^{-1}$, with a mean minimum of 15,000 and a mean maximum $23,000 \text{ kJ.m}^2.\text{d}^{-1}$. S and SW winds predominate, with highest frequencies in autumn and winter. Seabreeze influence is still present, but of limited importance.

Rainfall (c. $40\text{--}50 \text{ mm.a}^{-1}$) is rather erratic. Annual mean air temperature is c. 25°C ; maximum in August ($45\text{--}46^\circ\text{C}$), minima in December–January (down to -3°C) (Fig. 2.2).

3. Water chemistry

Conductivity of $350.10^{-6} \text{ S.cm}^{-1}$

Na	K	Ca	Mg	HCO_3	Cl	SO_4
1.8	0.1	2.1	0.2	2.0	1.7	0.5 meq.l^{-1}

4. Vegetation and algae

No macrophytes occur. Beds of Characeae are found in the littoral. Large colonies of Volvox sp. were abundant in samples collected in spring 1975.

5. Invertebrates

No molluscs are known from the guelta. Because of the absence of vertebrate predators, the zooplankton consists of large species. The Anostracan Streptocephalus torvicornis (Waga), and the large Daphniid Daphnia dolichocephala Sars and Calanoid Neolovenula alluaudi (De Guerne and Richard) abound. Rotifers, Oligochaetes and aquatic Nematodes have also been recorded (see under 2.2).

6. Human activity

Guelta Zemmour is a permanent settlement, and a border-post with Mauretania. It attracts many nomads for trade. The guelta, in 1975, was exploited as a source of drinking water. A cistern truck was in use for pumping up water from the guelta and distributing it around the settlement. Between April and June 1975, the water level had declined by more than one meter, largely as a result of this activity. Pumping ceased in 1976, when Guelta Zemmour became a site of active fighting in the struggle between the Polisario movement and the Moroccan army.

2.2. WESTERN MAURETANIA (Fig. 2.3)

Geology

The deeply dissected Palaeozoic sandstone plateau of the Adrar is very rich in deep, narrow gorges that conserve surface water well. Most gorges empty into wider wadi beds, usually invaded by sand dunes, but their upper reaches provide sites where rain and spring-fed gueltas abound. The gueltas of Molomhar (Oum Lem Har) are found in one of three major E-W oriented canyons that cut through the Tagguel massif, West of the city of Atar. The springs of Terjit, El Berbera and Guellet Zli are other important relict waters situated in the Adrar. The Tagant is another Palaeozoic sandstone plateau separated from the Adrar by the wide fossil Oued El Khatt. It lies to the SE of the Adrar, and takes a more continental position. Its western part is deeply dissected, hence rich in surface water. The guelta system of Matmata-Tartega is situated at the site where the Oued Ntakech, N-S oriented, close to and parallel with the western edge of the plateau, cuts through a sandstone ridge and empties into the wide basin of the Tamourt-en-Na'aj, one of the two major river systems of the region.

The valley of the Oued Bourraga runs West and parallel to that of the Oued Ntakech and, like it, empties into the Tamourt-en-Na'aj. Its western flank is formed by a sandstone wall, that has two diverticles. The southern one contains the Gamra Ouarbi-Lemzailgue gueltas. The Northern one is the gorge of El Houssiniya.

Lake Le Sheyr is situated at the foot of the NW-flank of the Assaba sandstone plateau, a southern extension of the Adrar and the Tagant. It is separated from the latter by the narrow pass of Diouk and, like the other two, is deeply eroded and dissected by river canyons, rich in waterpoints and with a wide diversity of microclimates.

Climate

The climate of this region is of type BWa (Köppen) but in Dubief's (1971) system that of the Tagant belongs to the northern rim of the tropical transition climate of the Sahara-Sahel. This is evident in the variation in rainfall and temperature seen between the more northern Adrar (represented by data from Atar, Fig.2.2), the Tagant (at Moudjeria) and the more southernly Assaba plateau (as at Kiffa). Mean annual insolation is 9-10 h.d⁻¹ and average annual irradiance 22,000-25,000 kJm⁻²d⁻¹. The summer monsoon has a marked effect on the climate of the whole region replacing the usual N-NE trade winds with SW winds which bring most of the rain during June-August. The mean annual rainfall (103 mm at Atar, 140 mm at Tidjikja, 225 at Moudjeria and 350 mm at Kiffa) increases from North to South but its seasonality becomes more marked: in the Adrar some rain may fall in any season but at Kiffa there is normally no rain from November - May yet 120 mm may fall in August alone. Inter-annual variation is also great: in the Tagant between 1931-60 a minimum of 56 mm fell in 1941 and in 1943 a maximum of 405 mm (Toupet 1975).

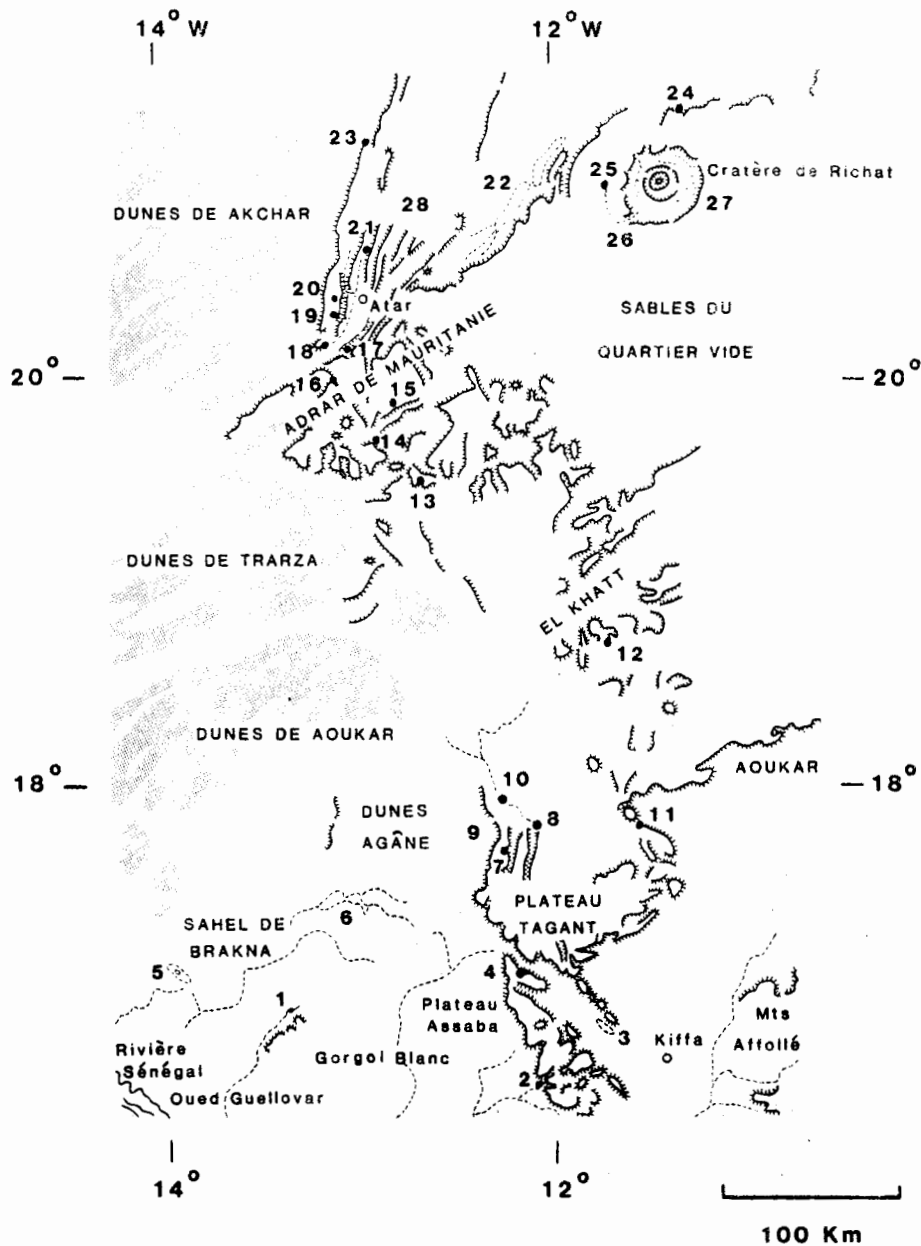


Fig. 2.3 Western Mauretania: locations of the permanent and ephemeral surface waters. 1-Lake Mal, 2-Lake Bheyr, 3-Guerou Marigots, 4-Guelta and Spring of El Ghaira, 5-Lake Aleg, 6-Periodic floodplain of Magta Lagjar, 7-El Housseinye Gamra Ouabi, 8-Matmata Guelta, 9-Achet Spring, 10-Nbeika Marigots, 11-El Gheddia Guelta, 12-Rachid Guelta, 13-Zli Guellet, 14-Glat El Bil, 15-El Berbera, 16-Toungad, 17-Terjit, 18-Hamdoun Guelta, 19-Ilij Guelta, 20-Oum Lemhar Guelta, 21-Tod Spring, 22-Chemchane Sebkhass, 23-Choum Guelta, 24-El Beyyed Spring, 25-Foum-n-Meh Guelta, 26-Ouadane Guelta, 27-Floodable part of the Crater, 28-Oumm Aghouaba fossil lakes.

Average air temperatures are lower (25.2°C) in the Adrar than further south (30.1°C at Moudjeria, 29.0°C at Kiffa). Maximum temperatures occur in June; 34.2°C (up to 41.8°C) at Atar, 38.3°C at Moudjeria, and 34.3°C in May at Kiffa. Average minima in December increase from 19.8°C at Atar to 22.8°C at Kiffa. Throughout the region annual amplitudes (11.5°C at Kiffa - 14.6°C at Atar) exceed average diurnal amplitudes (15.7 - 15.2°C). Annual evaporation averages 3.5 m at Kiffa, 4.5 m.a⁻¹ at Moudjeria and 4.2 m at Atar despite the fact that relative humidity may be 10-17% for most of the year in the South but exceed 80% during the monsoon. In the north, even in the monsoon season, relative humidity does not exceed 60%.

2.2.a. GUELTAS OF MOLOMHAR

1. Geography and morphology

The gorge of Oum Lem Har (20°35'N, 13°07'-13°11'W) opens into the sandy valley of Tayaret Cdar, an affluent of the Wadi Seguellil, at an altitude of 245 m. The upper portion of the canyon is situated at 400-450 m. The length of the main gorge is about 6-7 km. A saline pool (Azougui) is situated at its mouth, and pools are found scattered along its course. Their degree of permanence increases as one moves up the valley. A string of elongated upper gueltas above 400 m asl are permanent and with depths exceeding 4 m. During the dry season, the water is mostly stagnant. The upper gueltas receive continuous but minute inputs from numerous small seeps, but this is not sufficient to compensate evaporation. The lower, shallow gueltas are replenished by floods only. Many dry out once or twice a year, and any vertebrate fauna they contain then perishes. Floods occur up to three times a year, with highest probability in August.

2. Water chemistry

Because of the increasing degree of exposure to evaporation downstream, there is a pronounced gradient in salinity along the gorge during the dry season. In February 1976, values for conductivity ranged from 245.10⁻⁶S.cm⁻¹ in the upper gueltas to 3130.10⁻⁶S.cm⁻¹ in the lower gueltas. No measurements were obtained from the saline pools at Azougui, but a saline crust indicates that saturation conditions may be reached at this site. Dekeyser & Villiers (1952) recorded a chlorinity value of 15 g.l⁻¹ in March 1951 at Azougui.

The table hereunder presents a set of values for the major ions (in meq.l⁻¹) collected from five different gueltas, starting upstream and moving towards Azougui.

	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	Cond. (10 ⁻⁶ S. cm ⁻¹)
1.	0.4	0.13	2.7	0.6	3.55	0.6	0.2	245
2.	2.2	0.1	5.1	3.0	4.75	2.7	2.5	635
3.	8.3	0.44	4.4	5.5	4.55	9.9	4.0	1,396
4.	12.0	0.3	10.6	3.8	6.2	13.9	6.6	1,997
5.	80.8	0.36	10.7	8.0	5.1	33.6	5.5	3,130

3. Macrophytes

An inventory of terrestrial and aquatic plants is given by Dekeyser & Villiers (1952). Emergent macrophytes are mainly found along the upper gueltas, and are dominated by Phragmites australis, but Cyperaceae and Juncaceae also occur. Among submerged macrophytes, four species of Potamogeton are present. On wet rocky surfaces, the fern Adiantum capillus-veneris abounds. Equisetum ramosissimum and a relict Ficus, Ficus gnaphalocarpa, are also reported.

4. Phytoplankton

A short list of algae given by Dekeyser & Villiers (1952) has been much expanded by D'Hollander & Caljon (1978, 1980).

5. Invertebrates

Lists of representatives of various groups (Rhizopods, Ciliates, Mollusca, Tardigrades, Crustaceans, various insect orders) were presented by Dekeyser & Villiers (1952). Of particular significance is the presence of the African freshwater medusa Limnocyclus tanganyicae Gunther. Interesting relict damselflies are Pseudagrion hamoni Fras., and Molomhar is also a site where the Afrotropical Ischnura senegalensis Ramb. and the Saharian Ischnura saharensis (Ag.), of northern origin, meet. Finally, the West-African snail Bulinus guernei (Dautz.), an important vector of Schistosoma haematobium, is very abundant.

6. Fish

Four species occur, all of Afrotropical origin: Barbus deserti (but the Molomhar population might really belong to B. macrops Boul., D. Thys van den Audenaerde, pers.comm.), B. pobeguini Pell., Clarias anquillaris L. and Sarotherodon galilaeus Art.. There are also four species of Amphibia on record: Ptychadena occipitalis (Gunther), Tomopterna cryptotis (Boul.), Bufo regularis Reuss and B. mauretanicus Schl. No true aquatic reptiles occur, but Varanus griseus Daud. abounds around the guelta, and several species of Colubriid snakes have been cited from the wet parts of the gorge.

7. Human activity

The canyon is subject to occasional pastoralism and wood gathering. Some hunting by the small settlement at Azougui also takes place. The date palms around the upper gueltas are harvested yearly.

2.2.b. TERJIT

1. Geography and morphology

(20°15'N, 13°06'W) There are apparently two springs at Terjit, situated at the foot of a fault across the narrow gorge that drains towards the Oued el Abiod, resulting in a string of pools and marshes, connected by a trickle of running water over a distance of about one kilometer. According to Dekeyser & Villiers (1952), one spring is cold (water temperature not stated), and one is warm (32°C at origin). In addition to these main springs, numerous seeps occur throughout the gorge. On one of the overhanging walls, a curtain of travertine stalagmites has thus been formed.

2. Water chemistry

The average chemical composition (measured after the mixing of the outflow of the two springs) indicates a Cl value compatible with that given by Dekeyser & Villiers (1952) for both springs individually. The water of Terjit (see table) is notably rich in CaSO₄, in contrast to some very nearby gueltas, such as the one of Hamdoun (bed of the Oued Seguellil).

meq.l ⁻¹	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄
Terjit	2.80	0.18	18.0	8.8	4.3	3.9	20.0
Hamdoun	0.12	5.4	5.0	2.1	3.5	6.6	1.9

3. Flora

The macrophytes are very similar to those of Molomhar. There are important date palm plantations, and the relict Ficus gnaphalocarpa Rich. also occurs. The Algae were studied by D'Hollander & Caljon (1978, 1980).

4. Fauna

Aquatic invertebrates are numerous, and include the bilharzia-transmitting Bulinus guernei. The fish Barbus deserti (or macrops), and the anurans Ptychadaena occipitalis and Bufo regularis are also present.

5. Human activity

Terjit is permanently inhabited. There is a small maur settlement and some garden-cultures and goat-farming takes place. The date palm is exploited, and plantations were expanding in 1975-76. However, the water supply of the springs is too limited to permit much irrigation. The watering of the gardens and of the newly growing palm trees is therefore effected in the traditional oasis-fashion, by lifting water from man-made wells using a delou, and distributing it through a network of shallow canals across the gardens.

2.2.c. EL BERBERA

1. Geography and morphology

The lakelet of El Berbera is situated (19°59'N, 12°49'W) in a side gorge of the large Oued Timinit. Its canyon is NW-SE oriented and about 3 km long. Its course is lined by date palms and, as it narrows and deepens upstream, surface water appears. At the very top of the gorge, a fairly large lakelet (diameter about 30 m, depth c. 6 m) is found, surrounded by a 5-10 m wide macrophyte fringe, and fed by several springs in the northern wall of the gorge.

2. Water chemistry

A sample collected from the outflow of the lakelet into the lower oasis (April 1975) was analysed. The water is slightly saline, and rich in sodium.

	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	Cond. 10 ⁻⁶ S. cm ⁻¹
meq.l ⁻¹	11.7	0.26	8.25	3.10	5.3	11.3	5.8	1,790

3. Macrophytes

No detailed survey has been conducted, but Typha, and several Cyperaceae and Juncaceae occur commonly.

4. Algae

A list of species is given by D'Hollander & Caljon (1978, 1980).

5. Invertebrates

The inventory available is fragmentary. Cladocera and Copepoda were studied by Dumont (1978) and Van de Velde (1984). Only 3 dragonfly species are on record, with Ischnura senegalensis the only damselfly. Among Mollusca, Afrogyrus coretus Blainv., a wide-ranging Afrotropical species, is noteworthy (Van Damme, pers. comm.)

6. Vertebrates

Barbus deserti (or macrops) is found commonly in the flowing water downstream of the main guelta. Possibly, more species occur here, including some Anura, but no collections seem to have been made.

7. Human activity

A small village is established on top of the gorge (to avoid mosquitoes), and the valley is exploited for horticulture and date picking.

2.2.d. GUELTET ZLI

1. Geography and morphology

Guellet Zli (19°31'N, 12°47'W) differs from previous sites by not being directly connected to a major Wadi system. It is a system of two superimposed gueltas, the upper one small and filled only for short periods after torrential rains, the lower one situated at the foot of an intermittent waterfall, about 40 m in diameter, and 6 m deep when full, completely devoid of macrophytes, and semi-permanent in nature.

2. Water chemistry

At the time an analysis was made (Feb 1976), maximum depth measured was 4 m, and the guelta could be considered more than half full. Its water was fresh, with Ca and HCO₃ the dominant ions.

	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	Cond. 10 ⁻⁶ S. cm ⁻¹
meq.l ⁻¹	0.3	0.33	3.56	1.4	2.73	0.6	2.2	352

3. Biota

The impermanence of the lower guelta is reflected in the absence of fish, and hence the presence of large invertebrates that produce drought-resistant eggs (the Anostracan Streptocephalus torvicornis, the large Daphnia similis). Because the guelta dries out at irregular intervals, the molluscan and insect life is also less rich than in permanent waters.

For a list of algae, see D'Hollander & Caljon (1978, 1980).

2.2.e. GUELTA SERIES OF MATMATA (TARTEGA)

1. Geography and morphology

The canyon of Matmata-Tartega (17°53'N, 12°07'W) is about 7 km long, E-W oriented, and progressively narrowing eastward, although its average width is, at all times, in excess of 200 m. The floor of the gorge is covered with numerous gueltas and springs, and marshy areas in which Phragmites and Juncaceae abound. It ends in a cirque-shaped widening, where the main guelta of El Tartega is situated. Its surface area is somewhat variable with water level, but may reach 20-30 ha. It is thus the largest guelta of the Sahara s.l. Its maximum depth is not known. The water of the guelta is turbid, and has a characteristic muddy-brown colour, suggesting it is not very deep. In addition to several yearly floods, the guelta is fed by a considerable underflow. The importance of this source of water to the water balance is stressed by Toupet (1976).

2. Water chemistry

Analyses were made of the water in the main guelta, and of several gueltas and springs in the canyon downstream, in May 1975 and February 1976.

meq.l ⁻¹	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	Cond. 10 ⁻⁶ S. cm ⁻¹
main guelta								
1975	9.9	0.2	2.5	2.8	2.0	13.4	0.2	1395
1976	7.9	0.5	6.9	2.3	3.1	16.9	0.3	1785
small gueltas and springs								
1	0.1	0.2	0.9	0.4	0.6	0.3	0.5	127
2	0.3	0.4	1.5	1.7	2.4	0.6	0.6	387
3	0.4	0.4	1.5	1.8	2.5	0.6	0.5	286
4	0.5	0.2	5.4	3.0	3.5	5.6	0.1	265

The relatively high salinity of the main guelta is ascribed to its exposed position. Dominant ions are Na⁺ and Cl⁻.

3. Macrophytes

Absent from the main guelta; islands of Phragmites and Juncaceae are mainly found in spring areas. No palm trees occur in the Matmata gorge.

4. Phytoplankton

A list of species (with the exception of Diatoms) is given by D'Hollander (1980).

5. Invertebrates

The zooplankton was studied by Dumont (1979). The guelta is the type locality for an eremian calanoid copepod, Metadiaptomus mauretanicus Kiefer & Roy, and a relict site for the Cladoceran Daphnia barbata Weltner. Dragonflies are discussed in Dumont (1978), but no data on other insect groups appear to be on record. Molluscs have not been studied either.

6. Fish

Clarias anquillaris abounds in the guelta, and there are probably Cyprinids and Cichlids as well, but a detailed inventory of species is not available.

7. Other vertebrates

The Amphibia of the gorge are undocumented. Crocodylus niloticus still has a relict population in the main guelta (traces of small to medium sized crocodiles were seen in 1976).

8. Human activity

Except for occasional hunting (crocodiles being one of the targets), and grazing by sheep and goats, no human interference with the canyon occurs.

2.2.f. GUELTA SERIES OF EL HOUSSEINIYA, GAMRA OUARBI AND LEMZAILGUE

1. Geography and morphology

(17°44'N, 12°23'W; 17°38'N, 12°23'W). Gamra Ouarbi is composed of a string of gueltas, situated in the hollows of a cascading riverbed. The bottom part is an elongate oxbow-lake. El Housseiniya is a powerful spring that collects into a riverbed that is several kilometers long and stagnant during the dry season. Strong floods occur during the monsoon, which wash the beds of both systems into the main Oued Bourraga. The climate is as for 2.2.e.

2. Water chemistry

The water chemistry (in meq.l⁻¹) of the spring outflow, of 4 gueltas in the Gamra Ouarbi series, and of guelta Lemzailgue, is presented below. It is a typical dilute Ca(HCO₃)₂ solution.

meq.l ⁻¹	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	Cond. 10 ⁻⁶ S. cm ⁻¹
El Housseiniya	0.3	0.3	2.4	1.6	2.6	0.4	0.8	157
Gamra Ouarbi								
1.	0.2	0.4	1.8	0.7	2.0	0.06	0.8	239
2.	0.2	0.4	1.0	0.5	1.2	0.06	0.9	157
3.	0.4	0.6	1.0	0.7	1.4	0.06	0.9	161
4.	0.5	0.4	1.3	0.8	0.8	0.3	1.0	215
Lemzailgue	0.4	0.4	0.7	0.7	1.3	0.6	0.3	200

3. Macrophytes

While the gueltas are devoid of macrophytes, the bed of El Housseiniya is richly overgrown with emergent and submerged macrophytes, including various Juncaceae, Potamogeton and Nymphaea. The whole valley is covered by an extensive date palm plantation.

4. Algae

With the exception of Diatoms, were studied by D'Hollander (1980), who stressed the species richness of El Housseiniya. The gueltas were dominated by Volvox rousseleti West.

5. Invertebrates

A rich assemblage of Cladocera and Copepods (c. 30 species) occurs in the area (Dumont 1979). Among the insects, 9 species of dragonflies were recorded, including Agriocnemis zerafica (Le Roi) and Pseudagrion hamoni Fraser. Bulinus spp. abound in El Housseiniya, but no comprehensive inventory on Mollusca is available.

6. Fish

Clarias anquillaris occurs in tremendous population densities in El Housseiniya, and Hemichromis bimaculatus Gill. was also noted here. More fish species are, however, expected to occur here.

7. Other vertebrates

Among the Anura, Ptychadena spp. and Bufo spp. occur. A significant record is that of the Nile monitor, Varanus niloticus, in Gamra Ouarbi.

8. Human activity

The gueltas are situated in barren terrain, but the oasis of El Housseiniya is exploited for dates. Also, Clarias are caught. Because of the lush vegetation of the Oued Bourraga, there is intense grazing by goats, zebu, and camels. Cattle also use the lower gueltas to water. Some eutrophication (indicated by the abundance of Volvox) results therefrom.

2.2.g. LAKE LE BHEYR (EL BEHER)

1. Geography and morphology

The lake is situated (16°33'N, 12°05'W) at an altitude of 75 m. in an almost closed depression at the western edge of the Assaba. It is supplied with rainwater from these mountains, but is probably spring-fed as well (Toupet, 1966). The lake has a limited and temporary outflow to the South-West towards the Oued el Akhdar (Gorgol Noir), an affluent of the Senegal river. It is elongate, and generally N-S oriented. It occupies a shallow basin of maximum 6 km. long. During dry years, and especially in consecutive dry years, it splits up into 2 or 3 separate basins.

2. Water chemistry

An analysis was made of a sample collected in May 1975, at the end of the dry season. The water of the lake was still remarkably fresh:

	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	Cond. 10 ⁻⁶ S. cm ⁻¹
meq.l ⁻¹	2.7	0.2	2.2	1.2	3.5	2.5	0.3	532

3. Macrophytes

The water of the lake is extremely turbid, and the shores trampled by watering cattle, so that no macrophytes can survive there. The floodplain zone is covered with Piliostigma reticulata. In the upstream guelta of Hairlabe, Toupet (1966) records stands of Typha elephantina. Algae have not yet been studied.

4. Invertebrates

Little is known about aquatic insects. The dragonflies Ischnura senegalensis, Brachythemis leucosticta and Trithemis arteriosa, all wide-ranging African species, were recorded (Dumont 1976). The zooplankton is poor in species and in individuals, an indication of heavy predation pressure by the fish present.

5. Fish

No inventory exists, but Clarias anquillaris certainly occurs, and there is an active Tilapia-fishery (main species: Sarotherodon niloticus and S. galilaeus). No information on other vertebrates is available. The Nile crocodile does not exist in the lake, probably because of human interference. It is still present in quite a few other waters of the Assaba.

6. Human activity

There is a permanent settlement of maurs to the south-east of the lake. Their number increases during the colder dry season, when cattle concentrate on the wetter areas. A Peul village lies a little to the SW of the lake. The lake itself is used for watering livestock, and for fishing. It is strongly eutrophic and turbid, but the upstream gueltas are much less eutrophic. Bilharzia and malaria occur in the area.

2.3. ALGERIAN SAHARA (Fig. 2.4)

2.3.a. Oued Saoura (Western Algeria)

1. Geography and morphology

The Oued Guir and the Oued Zousfana, drain the southern flanks of the Atlas mountains and meet at Igli to form the Oued Saoura which is a major river extending into the western Sahara. It penetrates between the great western erg, which encroaches on the river's valley in the East, and the erg Chech in the West. Northwards it is bounded to the West by the stony Hammada du Guir. The Saoura has permanent surface water about as far South as the village of El Ouata, S. of the town of Beni Abbes. However, the Saoura used to be noted especially for its strong periodical floods: several pulses per annum were not uncommon. One of these floods due, not to runoff from the Atlas, but to heavy precipitation, mainly on the lower Oued Zousfana on 19-21 March 1959, was described in great detail by Vanney (1960). It was

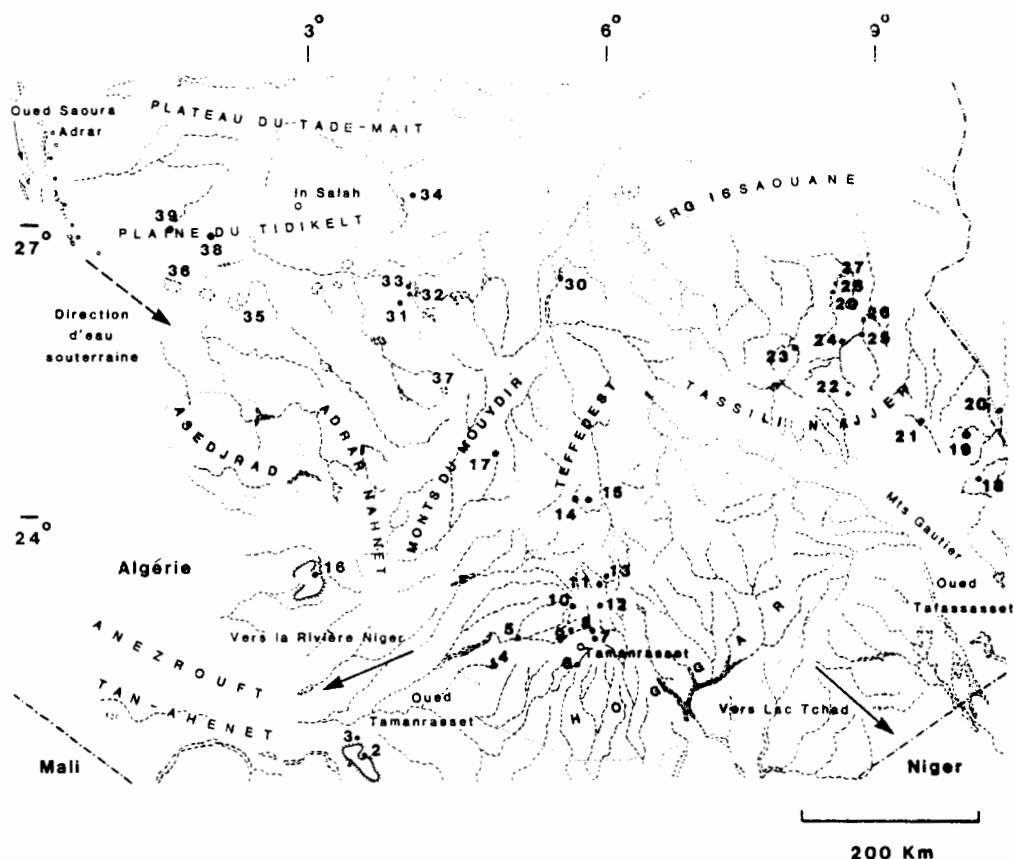


Fig. 2.4 Locations of the permanent and ephemeral surface waters in the Central Saharan mountains (mainly the Ahaggar and northern annexes, and the plateau of Tassili-n-Ajjer). 1-Tedjert Spring, 2-Tamada Guelta, 3-Ti-m-Misaou Well, 4-Silet Spring, 5-Abalesso Spring, 6-Amsel Guelta, 7-Chapuis Spring, 8-Im Laoulaouen Guelta, 9-Otoul Guelta, 10-Terhenanet, 11-Issakarassene Guelta, 12-Afilale Guelta, 13-Tamada Guelta, 14-Hassi Dehine, 15-Mertoutek, 16-In ziza Guelta, 17-Tesnou Well, 18-Amais Guelta, 19-Tamrit Guelta, 20-Ghat Spring, 21-Ga-Bei-Bei, 22-Dider Guelta, 23-Efenni Guelta, 24-Oued Jmirhou, 25-Torset Guelta, 26-Hot Springs of Tihoubar Ti Afella, 27, 28, 29-Oued Djerad Guelts, 30-Amguid Guelta, 31-Tiguelguemine Guelta, 32-Dijoraf Hot Spring, 33-Essameur Spring, 34-Tamesguidat Hot Spring, 35-Bahar El Hammar, 36-Mekerrhane Sebkh, 37-Arak Springs and Pools, 38-Tit Spring, 39-Aoulef Spring.

felt as far South as Adrar. Periodically even stronger floods occur. Dubief & Cornet (1958) list the frequency with which the Saoura flowed into the desert over specified distances, measured from the source of the Oued Guir for the interval 1900-1957:

flood over	200 km	33 times
	300 km	13
	400 km	6
	500 km	5
	800 km	1

(March 1959)

An unconfirmed report stated that in 1915 a flood reached Reggane (975 km from source), and this seems to have been a normal phenomenon in the 16th century, when slaves coming from the South were shipped north by boat from Reggane. In the middle of the 19th century, an exceptional flood extended well South of Reggane, as far as the well of Hassi Boura. Because of the damming of the Oued Guir at Djorf Torba, such floods no longer occur. They created enormous, temporary flooded areas of desert land, and strings of pools remained in the southern bed for varying periods of time, some even permanently. The Saoura is one of the main pathways, and certainly the one that was open most recently, in carrying biota of northern origin into the central Sahara.

Two types of stagnant water occur: the flooded valley, and the remaining pools in the river bed. The first is very ephemeral and, although no areas have been studied explicitly, they are probably very similar to the short-term flooded surfaces that occur elsewhere in the Sahara after torrential rains. Pools in the riverbed, on the other hand, show all gradations between ephemeral and permanent characteristics.

2. Climate

Köppen Bwa, and West continental Saharian in Dubief's classification. It becomes more and more arid as one moves South through the valley. Desert conditions are reached quite abruptly in the rainshadow of the Atlas; the area of Beni-Abbes has an average of less than 50 mm.a^{-1} of rain, Adrar has only 18 mm.a^{-1} , and Reggane c. 10 mm.a^{-1} . As in most desert environments, however, there is strong year-to-year variation. In Adrar (258 m asl), for the interval 1912-1968, the absolute minimum was zero precipitation (3 times in 50 years), while the maximum was c. 65 mm. There were five years with more than 50 mm of precipitation. Adrar may also be used as an example for the yearly temperature curve of the lower and middle Saoura valley. Highest mean temperatures are reached in July (c. 34°C), but absolute maxima in July may exceed 50°C . The lowest average falls in January (c. 12°C), but absolute minima may descend as low as -4°C . Winds from S to W dominate in summer; NW to NE winds in winter.

3. Water chemistry

Because of strong seasonal fluctuations in discharge and the ensuing evaporation, the water chemistry varies greatly both in time and space. This has certainly acted as a filter, selectively removing stenoionic (and stenothermic) species from the communities remaining in the valley today. In spring, the upper Oued Guir releases low

conductivity water. As the water flows down the valley, and the season advances, evaporation leaves a salt film along the edges of the receding river. The Oued Zousfana is salty over most of its course, most of the year. Whatever water it adds to the Saoura also adds to the salt load of the latter. Also, while the annual floods derived from the upper Oued Guir usually carry relatively little sediment, the few floods that are derived from the Zousfana (e.g. 1959) produce very turbid, reddish-brown water. A further effect of the damming of the Oued Guir is that the valley of the Saoura itself is becoming much more salty. Results of an analysis performed on samples collected in different parts of the valley are presented below.

		Chloride meq.l ⁻¹	Conductivity 10 ⁻⁶ S. cm ⁻¹
Oasis of Tit (Tidikelt)		8.7	1700
Adrar: Foggara		9.3	1250
Saoura, N. Adrar		326.7	more than 10 ⁴
Saoura, Kerzaz	1	14.3	3000
	2	10.8	3000
Saoura, Guerzim	1	10.8	2000
	2	8.2	2000
Saoura, N. Kerzaz		75.9	7400
Saoura, El Ouata	1	111.1	8800
	2	131.7	more than 10 ⁴
Saoura, Beni-Abbes	1	185.9	more than 10 ⁴
	2	400	more than 10 ⁴
Saoura, Igli	1	248.6	more than 10 ⁴
	2	232.1	more than 10 ⁴
Zousfana, Tarhit		22.0	2100
Zousfana, Beni-Ounif	1	41.8	3900
	2	34.1	2300

4. Macrophytes

Because of the variable water level of the Oued, no macrophyte fringe is found in most places. Phragmites occurs locally, and along the seguias of irrigated oases, Typha spp. and various hygrophytes may be found (Phalaris spp., Melilotus spp.). Quézel (1975) studied some communities at Igli from a sociological point of view. He noted the poverty of species and their salt tolerance. He lists Phragmites australis, Scirpus holoschoenus, Sonchus maritimus, Juncus maritimus, Cynodon dactylus as the dominant species. Along the Oued, Tamarix spp and Nerium oleander abound. The dominant tree in the valley is undoubtedly the palm tree. Their number is estimated at more than 500,000.

5. Algae

Stray notes and identifications are to be found in Feldman (1946), Frey (1930), Gauthier-Lièvre (1931, 1941). Compère (1967) lists 18 species from Adrar. On balance, our knowledge of the algae of the Saoura valley is quite unsatisfactory.

6. Invertebrates

Only pools in depressions remain long enough to allow the development of animal life. It is likely to consist of large Euphyllipods, Notostraca, Conchostraca, Ostracods and large Rhabdocoelids. A community very similar to this is described by Gauthier (1938) from the basin of the Oued Zousfana near Beni-Ounif ("Oued Melias"): the Anostraca Streptocephalus torvicornis, Tanyastix perrieri, Branchipus stagnalis; the Notostracan Triops granarius; the Conchostracan Leptestheria sp.; the Ostracod Cyprinotus incongruens; unidentified Calanoids and Chironomid larvae. Shrimps (Atyaephyra desmaresti) abound along the banks of stagnant sections of the river, and Ostracoda, Cladocera, Copepoda and Rotifera occur plentifully, but no detailed species lists have as yet been published. Among Insects, the same seems to hold true for Coleoptera, Hemiptera and Ephemeroptera. The dominant Zygopteran of the valley is Ischnura saharensis; typical mediterranean species such as Platycnemis subdilata and Coenagrion caeruleum do not extend beyond Tarhit on the Oued Zousfana. The dominant Anisoptera are Orthetrum chrysostigma, Trithemis kirbyi ardens, and Crocothemis erythraea.

7. Vertebrates

All fish species that live in the Atlas could theoretically occur in the Saoura. Several Barbus species of the callensis-group indeed occur, but many do so only temporarily. When salinity increases, there is back-migration towards the upper reaches (pers. obs. on Oued Zousfana, May 1979). Only very euryhaline species persist, among which the Cyprinodonts Aphanius fasciatus and A. iberus. Among Anura, Rana ridibunda perezii, Discoglossus pictus and Bufo mauretanicus are widespread, especially in date-palm oases.

8. Human activity and management

The valley of the Saoura is densely inhabited, and several major townships (Beni-Abbes, Adrar, Reggane) occur, in addition to numerous villages. Irrigation agriculture and palm culture have probably been performed here since antiquity, and probably there was hunter-gathering activity during the Palaeolithic, and cattle farming during Neolithic times. The Foggara system is still extensively used between Adrar and Reggane and in the Oases of the Tidikelt.

Tourism is developing in the valley, which is accessible by motor-vehicle on a good sealed road. Tourism concentrates on Beni-Abbes (scenery) and on Tarhit (scenery and rock engravings) where modern tourist resorts are available. Problems of pollution exist in the vicinity of the major towns, where sewage is diverted directly into the Oued. This produces off-flavours and local algal blooms (e.g. at Beni-Abbes).

A particular problem has been created by dam-building in the Atlas. The ecology of the river had not been studied in enough detail prior to damming, and the changes that occurred can only be guessed at. Without doubt, however, salinity is on the increase and some selective effect of this on the biota is inevitable in the long run. Large dams, and also some newly constructed fords that fall dry during spring may (and do) hamper the fish in the seasonal migrations mentioned earlier.

2.3.b. GUELTA IN ZIZA

1. Geography and morphology

Guelta In Ziza (23°31'N, 0°12'E) is one of the most isolated surface waters in the Sahara. It is situated at the southern end of the Adrar n'Ahnet and inside a large inselberg of (Cenozoic?) volcanic origin. It has been suggested that this mountain, in fact a circular wall surrounding a wide valley, is the crater rim of a volcano which is partly buried into the surrounding plain of the Tanezrouft. In places, the granitic basement is visible. Rhyolitic glass and alkaline tuffs occur commonly. The guelta forms a circular basin of 13 m diameter and, when full, is about 6 m deep. It collects water from two different oueds that drain part of In Ziza mountain and has no additional spring water input (Monod, 1932). In the bed of the main feeding oued, some additional small basins retain water for some time (hence it is often said that there are several gueltas at In Ziza).

2. Climate

Temperature data are cited by Monod (1932): July is the hottest month (c. 33°C), while in December-January the average is c. 16°C. The climate is likely to be almost identical to that of the southern Saoura Valley, with annual precipitation in the order of 10mm.a⁻¹.

3. Water chemistry

A chemical analysis showed that both the guelta and the upper pool with *Chara* had low conductivity (200 and 600.10⁻⁶S.cm⁻¹ respectively), and chloride content (43 and 128 mg.l⁻¹).

4. Biota

In one of the gueltas Characeae were collected in May 1979, but no other macrophytes occur. Algological studies have not yet been conducted. In May 1979, the main guelta was half empty, and clumps of blue-green algae were floating at the surface and lying on the bottom. The zooplankton in May 1979 was rich in the large Calanoid *Paradiaptomus greeni*. Corixids also appeared to be common. In the bed of Characeae, Chydorids occurred. Dipteran larvae were plentiful in the benthos, but Mollusc. were absent. Two dragonflies were collected: *Trithemis arteriosa*, a widespread Afrotropical species, and the Mesasiatic *Orthetrum ransonneti*, which also occurs in the Hoggar and the Air.

The absence of aquatic vertebrates, and the presence of large-sized zooplankton, suggest a periodical drying-out of the guelta.

5. Human activity

The valley of In Ziza supports a single Tuareg family and their cattle (a few camels, some goats). All use the guelta as a multipurpose resource, including for drinking. Eutrophication is apparent.

2.3.c. GUELTAS OF OUED IMIRHOU, INCLUDING ITS AFFLUENTS (OUED IHERIR AND OUED TORSET)

1. Geology and morphology

The Tassili-n-ajjer (Tassili = a tuareg expression for a ring of plateaux which, deeply dissected and locally interrupted, surrounds the central Sahara mountains of the Ahaggar) is named after the Ajjer (or Adjer) tuareg tribes who inhabit that region (c. 3,500 in 1950; c. 10,000 in 1970). It is basically a sandstone plateau of Palaeozoic age that overlies the crystalline (granitic) Precambrian basement. Killian (1922) divided the plateau into three main areas: the northern (and western) upper (or outer) Tassili, which consists of Devonian sandstone, uplifted towards the South (Illizi in the North is 535 m asl.). A series of parallel N-S oriented river beds cut through this plateau and divide it into several blocks: Tanget in the East, Fadnoun in the centre, and Tamelrik in the West. The inner (or lower) Tassili is situated to the South of the outer Tassili. It is composed of Cambrio-Ordovician sandstone and is also tilted in a N-S direction. It is the area where the main oueds, that dissect the Inner Tassili, originate. The Intra-tassili, finally, is a mostly narrow zone between the preceding ones, of Gothlandian age, and best expressed in the V-shaped lower valleys of the main Upper Tassili Oueds, one of which is the Oued Imirhou (or "Mihero"). The dendritic upper reaches of the Oued Imirhou extend southward as a fan, reach 25°10'N, and roughly extend between 8 and 9°20'E. The total basin covers an area of 12,700 km². It springs at 1800 m. Certified permanent lakes, as well as a multitude of semi-permanent and ephemeral ones, abound over most of its upper and middle course, including some of its tributaries such as the Oued Iherir and the Oued Torset. The Oued Iherir in the West is particularly famous, and in wet years has flowing water over a distance of 20 km. Here alone, some 45 permanent lakes occur, out of the c. 300 known from the entire Tassili. They are situated at altitudes varying between 1100-1200 m, and some are separated by small but active waterfalls. Their depth may reach as much as 15 m, and many are between 4 and 6 m deep. The Oued Torset also contains numerous permanent gueltas, and near its junction with the Oued Imirhou a hot spring, Tihoubar-ti-n-Afella (c. 45°C) is found, which supplies water to a guelta with the same name.

2. Climate

Little is known about the climate of the plateau area and its deep canyons. While annual precipitation at Djanet is only c. 15 mm.a⁻¹, Bernard (1953) estimates that the plateau should receive 150 mm in good years but the average should not exceed c. 30 mm.a⁻¹ (Dubief, 1971). Rains tend to be erratic, with highest probability of occurrence in May. Summer storms that result from hot air masses, cut off from the monsoon front are not unusual. Snow was observed five times between 1925 and 1961. Winter temperature minima in the higher regions are 1-2°C, and maxima do not exceed 13-14°C. Summer minima are 18-21°C, and maxima are around 30°C. Mean irradiation is around 20-25,000 kJ. m⁻¹.d⁻¹, but the microclimates of the permanent lakes are very different, and they receive only a fraction of this energy.

3. Hydrology

In spite of the relatively low precipitation, the upper basin of the Oued Imirhou can collect enough water to produce substantial floods. Some of these have been known to reach a distance of 270 km from the source (Dubief 1971). However, floods of a more modest nature are more common. They even occur without substantive rain, and are driven by a mechanism which is as yet not clearly understood. Floods have been recorded in 39 months over a period of 26 years.

The great variation in longevity of the waters found in the Oued Imirhou (and, indeed, in the whole Tassili), results in wide fluctuations of their ionic content, in time and space. While the Iherir gueltas are incorporated into a flowing river for up to six months per annum, evaporation and concentration of solutes occurs for the rest of the year.

4. Water chemistry

The basic chemistry of six Iherir gueltas sampled in June 1978 is listed below. There was some flow from one to the other, but conditions were basically stagnant. Conductivity and total ionic content varied fourfold.

Oued Imirhou gueltas

	Na	K	Ca	Mg meq.l ⁻¹	HCO ₃	Cl	SO ₄	Cond. 10 ⁻⁶ S. cm ⁻¹
1	5.1	0.05	2.1	4.2	7.5	3.7	1.0	641
2	7.9	0.1	2.3	2.8	8.5	5.4	1.0	1170
3	6.1	0.1	6.1	7.9	7.8	5.4	1.0	1214
4	6.3	0.1	2.8	8.8	7.1	2.8	6.0	1328
5	7.5	0.3	17.1	10.0	16.4	5.2	12.0	2244
6	5.9	0.2	12.9	19.5	16.5	5.3	12.1	2336

Dry guelta beds in the valley are notably saline; the relatively large quantities of magnesium among cations is striking, while in gueltas 5 and 6, sulphates were very high.

5. Macrophytes

The Oued Imirhou gueltas have thick stands of the Typha elephantina - Typha australis association, sometimes extending over tens of meters as thick green walls, effectively separating adjacent gueltas. Submerged waterplants are also present: Potamogeton spp. are common. Myriophyllum spicatum and Utricularia spp. are locally abundant. Tamarix gallica and Nerium oleander, in addition to thousands of planted date palms, occur in the drier places. The relict olive tree Olea laperrinii is rare: only few specimens are known from Iherir valley.

6. Algae

Little has been published on the aquatic algae of the Tassili-n-Ajjer. Occasional notes are found in Amossé (1941); Behre (1953); Gauthier-Lièvre (1941). Volvox sp. is common in the shallow, eutrophic gueltas; filamentous green algae abound in deeper, semi-permanent gueltas.

7. Invertebrates

The aquatic invertebrates form an intricate mixture of Palaearctic and Afrotropical elements, with the African fraction dominant. Oriental elements also occur but rarely. Unusual species for a desert environment are the poriferan Spongilla carteri and the bryozoan Fredericella sultana. In some gueltas, large Rhabdocoelids abound (Mesostoma sp.). The composition of the zooplankton is determined, aside from historical factors (relicts), by the presence or absence of vertebrate predators and of dense stands of aquatic plants that provide protection against them. It is thus a direct reflection of the degree of permanence of these biotopes. The permanent lakes of Iherir and Torset have only littoral assemblages, or a species-poor zooplankton in which rotifers dominate. The Daphniid Simocephalus vetulus lives among littoral macrophytes (sole site in the Sahara). In turbid waters, the African cyclopoid Thermocyclops retroversus is found. Other significant relicts are Moina belli, an eremian species, and Alona elegans, a Palaearctic species, and among the cyclopoids, Afroscyclops gibsoni, a widespread African endemic (see Lindberg 1953; Brehm 1958; Dumont 1979). In ephemeral gueltas and pools, Anostraca (Streptocephalus, Tanymastix), Conchostrac. (several ill-studied genera and species), and Notostraca (Apus granarius) abound. Diaptomids are also restricted to this type of low-predation environment. Two species of Metadiaptomus, Paradiaptomus greeni and Neolovenula alluaudi, all eremian or Palaearctic in nature, have been recorded (Kiefer 1958; Dumont 1979).

Water beetles also offer a picture of a mixed Mediterranean and Afrotropical fauna (Bernard 1953). The aquatic Hemiptera, studied by Poisson (1953) comprised some 21 species, 13 African and 8 Palaearctic. In fact, some of the species which he classified as Ethiopian belong to groups widespread in Africa, Asia and even Australia, and might be more nearly related to Oriental species. Several dipteran vectors of malaria are present (Senevet et al 1953). Dragonflies (Dumont 1979, 1982) include the eremian Ischnura saharensis and relict populations of Pseudagrion hamoni, an African species. Mollusc. are represented by both Biomphalaria and Bulinus species, and hence both major forms of bilharzia occur in the Tassili. The remainder of the Molluscan fauna also includes a majority of Afrotropical elements, with some Mediterranean species (Van Damme 1984).

8. Vertebrates

Aquatic vertebrates have made the gueltas of the Oued Imirhou famous. The Palaearctic Barbus biscarensis here meets the Afrotropical Barbus deserti; two species of Clarias, a common predator co-occur (C. anquillaris and C. gariepinus). Coptodon zillii has not been recorded at Iherir, but occurs in great schools

in Aguelmam Tihoubar-ti-n-Afella and in the Oued Torset. Bufo viridis, Ptychadena occipitalis and P. mascarenensis are the dominant anurans. Urodela and water turtles have not been recorded. The most famous inhabitant of the Oued Imirhou was the Nile crocodile. However, it has been extinct here for more than half a century and the exact sites where it used to live ("side canyons of the Oued Iherir") are not known. Three specimens have certainly been killed by Europeans: one in 1909 and two in 1924. The local population was probably small and consisted of dwarfs. One specimen, preserved in Algiers, is 1.40 m long.

9. Human activity and management

The relative abundance of water in the Oued Imirhou and affluents has ensured continuous human habitation, at least since Neolithic times. In spite of malaria (Perret 1933) and bilharzia, the valley of Iherir was inhabited by some 1,000 people around 1950. This number had considerably expanded by the mid 1960s, but then decreased again as a result of the attraction of the oil fields around In Amenas. Agriculture concentrates on dates, wheat, figs, vine, carrots and onions (Bernard 1953), but the Tuareg also know how to exploit the aquatic resources of their valley. Perret (1935) describes a technique, now disused, whereby the women lowered a piece of cloth weighted with stones and baited inside with chunks of goat meat, onto the bottom of the lakes. After a few days, the cloth was quickly hauled up, and the catfish that had been attracted to the meat were caught by hand. The crocodile is not known to have been hunted by the locals, who seem to have feared it, but no memory of their presence remains with today's inhabitants of the valley. As rifles became widely available early in this century, local Tuareg probably contributed to the elimination of crocodiles.

Typha is widely used, for roofing zeribas (huts), a practice which is also known in the Ahaggar and the Tefedest (Mertoutek). The white "heart" of Typha shoots is also used as a vegetable by the Tuareg, and is usually eaten raw.

Human settlements occur not only at Iherir, but also at other sites such as the hot spring of Tihoubar-ti-n-Afella. The valley of Iherir has now been classified as a nature park, and falls under the authority of the Ministry of Fine Arts of Algeria. Emphasis is not on protection of the flora and the fauna but of the numerous frescoes that are found on the plateau west of Iherir. Some basic facilities (huts, guides) are provided for visitors but tourist stress is still negligible.

2.3.d. GUELTAS OF THE OUED TADJERADJERI

1. Geography and morphology

The Oued Tadjeradjéri, W. of the Oued Imirhou, cuts through the Upper Tassili and separates the plateau of Fadnoun and of Tamelrik. Its lower course, N-NE oriented, extends between 8° and 8°15'E. Numerous gueltas, identical in nature to those of the O. Imirhou, extend along its middle course and upper tributaries, but water is less abundant.

The majority of permanent gueltas extend along the bed of the Oued Aharhar (7°50'-8°E, 25°10'-25°50'N) an area of historical interest. During the early explorations, the first Flatters expedition reached the junction between the Oueds Aharhar and Tadjeradjéri in April 1880, and turned back N. from there. They found a lake named Mengough (Menrou), situated close to 26°N, about 4 m in depth, and rich in fish. The French Tassili expedition of 1949 led by F. Bernard explored, among other things, the upper Oued Tadjeradjéri and the Oued Aharhar down to Edjef, the site with the last palm trees (25°27'N), but narrowly missed Menrou, which lies in a diverticle about 2 km South of the main oued, and is presently called Aguelmam Efenni (alt. 1120 m a.s.l.). On 5.6.1978, this aguelmam was seen shortly after a flood, and had turbid water. On 17.4.1979, the level was about 1 m lower, and the water transparent to the bottom. The total length of the Aguelmam is c. 500 m; its width varies. In places, it is constricted and even interrupted by dense stands of Typha. Its long axis is roughly N-S oriented; the eastern shore is rocky, while the western side is part of the Oued bed. The French expedition probably overlooked it because, contrary to many other gueltas, it is situated in a fairly open and flat area.

2. Water chemistry

A chemical analysis at the south end, the centre, and the north end of the guelta in 1978 gave the following result:

	Na	K	Ca	Mg meq.l ⁻¹	HCO ₃	Cl	SO ₄	Cond. 10 ⁻⁶ S. cm ⁻¹
1	1.8	0.2	8.4	3.4	5.9	2.4	5.0	741
2	1.6	0.1	5.4	4.1	5.9	2.2	3.2	527
3	4.3	0.4	5.7	4.3	5.9	3.4	4.9	779

These are typical freshwater conditions. However, in 1979 a white salt film occurred on the dry parts of the guelta bed, indicating that salinity may fluctuate quite strongly.

3. Flora

Typha is the dominant macrophyte. Potamogeton occurs locally, and so do some Characeae. Micro-algae have not been studied. There are no palm trees in the immediate vicinity which may account for its being inconspicuous. Instead, Tamarix occurs in the Oued bed, and Acacia on the surrounding stony plateaux.

4. Fauna

Four fish species co-occur with certainty in the guelta; the predator Clarias gariepinus (det. J. Teugels), Barbus biscarensis, B. deserti and Coptodon zilli. The open water zooplankton is impoverished, while in the Typha stands various cyclopoids and Cladocera (Chydorids, Macrothrix spp., Ceriodaphnia spp.) are found. The benthos contains Ostracods (Martens 1981), chironomids, Ephemeropteran and Odonata larvae. Aquatic beetles and waterbugs are numerous. Two dragonfly species, not yet found elsewhere in the Tassili were recorded: Trithemis annulata and Paragomphus genei.

Other sites visited by the French team are temporary pools in the upper Tadjeradjeri at Armar, 1100 m. Their fauna remains undocumented, but is probably similar to the calanoid and anostracan plankton found in a series of kettle holes ('marmites de géant') named Aguelmam Tin Azzaret in the Oued Adji, an affluent of the Oued Samene, the first Oued West of O. Tadjeradjeri and only 25 km West of Ain Tairhe (25°52'N, 7°44'E). In the upper Aharhar, Ag. Adjeraoua (1160 m) occupies a typical guelta-site. It is said to be permanent, and rich in insect life, with the gyrenids Dineutes grandis and Gyrinus regimbarti explicitly recorded (Bernard 1953).

5. Human activity

A well, Ain Tairhe (1120 m), situated some 3 km N. of A. Efenni, was visited by the French Tassili expedition. It is here called Foggara of Aharhar, and the spring is named Tamera. It was captured, and surrounded by a concrete basin in 1947. Canals were dug to conduct its water to the village of Aharhar. Gambusia was introduced into the canals to control mosquito larvae.

There is a settlement at Aharhar, including a date palm plantation (palmeraie), at 3 km from the guelta of Efenni. Its influence on the guelta is limited. No fishing occurs. There were 400 inhabitants here in 1950, but only few families in 1978-79. Most of the workforce had moved to In Amenas. Grazing and watering by goats and camels is the only use that is made of the gueltas in the area.

2.3.e. AGUELMAM TIN BAWENDI (TAMADJERT)

1. Geography and morphology

The village of Tamadjert (25°37'N, 7°19'E) is situated W. of a large fossil floodplain, c. 8-10 km across, at c. 1160 m. asl. and at the confluence of two major and one minor gorges. The central gorge, Oued Tin Bawendi, is still extremely humid, and contains a series of gueltas over a distance of several kilometres, separated by long, dense stretches of Typha, sometimes united by a narrow channel of stagnant or running water. There are springs in several places. This system, entirely situated on the inner Tassili, is not connected directly to any of the major Oueds of the Tassili.

2. Flora

Potamogeton, Ceratophyllum, Myriophyllum, Polygonum and Characeae abound.

3. Fauna

A single, preliminary inventory was made on 18.4.1979. No Mollusca were seen. The largest guelta, several meters in depth, contained Calanoids, Cyclopoids, larvae of Ephemeroptera and of Chaoborus. In the submerged vegetation, species-rich communities of Chydorids (Alona, Pleuroxus), Macrothricids, and Ceriodaphnia were found. The

macrofauna consisted of Coleoptera, Hemiptera, Diptera and Oligochaeta. No fish were seen (as confirmed by the presence of Calanoids in the open water) but Bufo viridis and Rana ridibunda perezii were numerous, as were Colubrid snakes that fed on them.

4. Human activity

The drier parts of the gorge provide excellent grazing, and cows and goats freely roam about through the canyon. The small villages of Tamadjert and Edjef Eberchenaten also conduct limited horticulture. Of special interest is the fact that the area is rich in neolithic frescoes, indicating continuous habitation of the area since prehistoric times.

2.3.f. AGUELMAM AZAR (ASSAR) AT DIDER

1. Geography and morphology

The gueltas of Azar (or Assar, Assa) (25°12'N, 8°28'E) are named after the Assar massif which (mean altitude c. 1600m) rises some 150 m above and south of the vast plain of Dider. They are situated in the bed of a short (2-3 km) gorge that drains the N. of this plateau and consist of a number of upper pools, and two large lower pools, separated by a cascade. All pools are rain-fed and none is permanent. The upper ones are small, elongate, shallow and lie in cracks in the bed of the oued. The basal ones are circular plunge pools, several meters deep; the lower one is c. 30 m diameter, and 4-5 m deep when full.

2. Biota

No macrophytes or vertebrates live here, and all these gueltas are excellent examples of environments fully exploited by large invertebrates. The small upper pools are rich in Triops granarius, large Ostracods, Daphnia, conspicuously red-pigmented calanoids, large rhabdocoelid flatworms, and no mollusca. Large flocs of filamentous green algae are abundant. The lower gueltas are populated by dense swarms of Anostraca, red calanoids, and, in the benthos and epilithon, Trichoptera larvae, Ostracods, Oligochaetes and mites.

3. Human activity

The upper gueltas appear to be of no interest to the nomads living around the plain of Dider. The lower guelta (Azar s.s.), however, is frequently visited by Tuareg, to wash, drink and water cattle. Small caravans come almost daily to the guelta and drinking water is taken away in guerbas carried by mules. The gorge is lined by a number of overhanging cliffs, most of which contain rock paintings.

2.3.g. GUELTAS OF IMLAOULAOUENE

1. The Hoggar: Geology and morphology

The Ahaggar or Hoggar mountains are basically made up of Precambrian granitic rock, but the highest parts are covered by late Tertiary and Quaternary lavas, deposited in three distinct phases of volcanism that were related to the Alpine orogenetic revolution. It covers an area of 3.10 km^2 around a central core, the Atakor (or Khoudia, in arabic) at about 1900–2200 m asl. The fantastic relief of that part of the Hoggar today, with its many sugarloaf-shaped peaks, is the result of differential erosion which removed the volcanic cones but left most of the magmatic cores intact. The Hoggar mountains are drained by a number of rivers, the most important of which is the Wadi Tamanrasset to the west of the massif. It is itself a tributary to the Oued Tilemsi, a fossil river that used to empty into the Atlantic Ocean in West Africa but was captured in its lower reaches by the River Niger, possibly around 6,000 B.P. The gueltas of Imlaoulaouene ($22^{\circ}53'N$, $05^{\circ}40'E$) are situated in a short side gorge of the Oued Tamanrasset, close to the city of the same name. A fault across the river bed causes the underflow to seep to the surface near its top and this forms a cascade with four main steps (= guelta basins). The lower guelta is at 1500 m, the upper one at 1540 m.

2. Climate

Although situated in the centre of the Sahara, the climate of the Hoggar is distinct from, and much less extreme than, that of its surroundings. Precipitation is much higher, and increases steeply with altitude; the city of Tamanrasset (1400 m) has c. 50 mm.a^{-1} , while the Assekrem peak (2700 m) has no less than 125 mm.a^{-1} . Mean annual temperature at Tamanrasset is 21°C ; the minimum falls in January (11.7°C) and the maximum in July (28.9°C). Freezing temperatures occur every winter, with an average of 29 frost days (20 in January, 9 in February); -6°C is the absolute minimum. At higher altitudes (Assekrem), snow is not exceptional (once in four years), and the absolute minimum is about -12°C . Consequently gueltas freeze regularly in winter.

Irradiance c. $20,000 \text{ kJ.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$. varies with the season and the relative importance of short wavelengths increases sharply with altitude. On the Assekrem plateau values close to the solar constant are frequently measured, especially when partial cloud cover adds reflected to the direct incident light (Schwarz 1976). As in most desert environments, inter-annual variation is strong. Between 1924 and 1968 (Tamanrasset altitude) annual precipitation was around 10 mm in 7 years but there were more than 100 mm in 5 years. In 1933, a historical maximum of almost 160 mm was recorded. At the Assekrem, between 1955 and 1968, only three years had less than 100 mm (absolute minimum c. 35 mm), while there were three years with more than 200 mm (absolute maximum in 1957: 260 mm). Even in the former conditions all local oueds flow for at least a few days each year. This is greatly facilitated by the impermeability of the granitic substratum. The Oued Tamanrasset, for example, flows for an average of 5 days per annum and 5–6 times during the present century it flooded sufficiently to reach the Tanezrouft, possibly as far as the Tilemsi. It is certain that the area of Tim-m-Missao on the central Tanezrouft was reached in September 1950 and 1951 (Teissier, 1965).

In its central position, the Hoggar derives its precipitation from two sources, and has two annual maxima: a winter-spring one, related to Mediterranean depressions, and a summer one, related to advances of the monsoon front. This bimodality is more marked at Tamanrasset than on the Assekrem, where only the winter months have a relatively lower precipitation.

3. Water chemistry

Like all intermittantly replenished desert waters, the ionic content of the gueltas varies strongly with time after filling. The water seeping in at the top of the fault is insufficient to compensate for evaporation (actual measurements of evaporation by Schwarz (1976) extrapolated to the altitude of the gueltas would indicate an annual total of around 4 m), so the main water supply must be from torrential rains. In September 1976, shortly after some good rains, the lower guelta was full (and turbid), and had a conductivity of $153.10^{-6} \text{S.cm}^{-1}$. In February 1977, the water level had declined by about 1 meter, but the water was now clear. The conductivity of the lower guelta had increased to $238.10^{-6} \text{S.cm}^{-1}$, while the basin above it had now $482.10^{-6} \text{S.cm}^{-1}$. In May 1980, the level was about the same as in February 1978 and so was the conductivity of the lower guelta ($450.10^{-6} \text{S.cm}^{-1}$). Conductivity of c. $1500.10^{-6} \text{S.cm}^{-1}$ was measured in some small puddles of water which still persisted at the upper levels. They were surrounded by a salt film and salt deposits were also seen on the base of Typha stems there. This situation is reminiscent of the Molomhar series of Mauretania, but in inverse order. Here conductivity decreases downstream, because the gorge deepens abruptly, and the lower gueltas are very well protected from evaporation, while the upper ones are not.

4. Flora

Above and below the fault, Nerium oleander occurs in the bed of the Oued. The lower gueltas are completely devoid of macrophytes, but at the seep itself, Typha stands occur, and Characeae and mosses are also found. D'Hollander (unpublished) identified a few algae from the guelta: Oscillatoria tenuis, Volvox rousseletii, Korshikoviella gracilipes and Ulothrix sp.

5. Vertebrates: None recorded.

6. Invertebrates

Some Hemiptera and Coleoptera occur in the lower gueltas, but are much more numerous in the vegetated higher pools. They are the same species as found in the gueltas of the Assekrem plateau (see below). Dipteran larvae and Ephemeroptera also occur, and mites are relatively common. The dragonflies Pantala flavescens, Trithemis arteriosa, Orthetrum chrysostigma and O. ransonneti patrol over the gueltas and in the dry bed of the Oued. The zooplankton consists of the cyclopoids Tropocyclops prasinus and Metacyclops minutus but

predominantly the calanoid Neolovenula alluaudi, the Cladocera Daphnia simili, Moina micrura, M. belli and Ceriodaphnia dubia, and the anostracan Streptocephalus torvicornis. The Cladocera, and particularly the calanoid copepod, are conspicuously pigmented.

7. Human activity and management

Goats and camels frequently come to the gueltas to drink. They are, however, not used by humans for that purpose any longer. The lower guelta, being situated at less than 20 km from the city of Tamanrasset, and close to the motorable track of the Assekrem circuit, is visited by numerous tourists. Apart from the local accumulation of some litter in the environment, no detrimental effects of this activity are apparent.

2.3.h. THE GUELTAS OF THE ATAKOR

1. Geography and morphology

This section covers a selection of the numerous (c. 40), mostly permanent waterbodies that are situated in the heart of the Atakor, on or around the high (1800-2200 m) plateau of Assekrem. Rivers have eroded the lava sheet that covers the area, and cut gorges down to the crystalline base. Permanent seeps and springs are found at the boundary between lava and granite, and several semi-permanent to permanent stretches of running water result. Data are available about the gueltas of Affilal (2100 m, 23°11'N, 05°42'E), Issakkarassene (1950 m, 23°25'N, 05°47'E), the twin gueltas of Imeghra (Imarera) (1840 m, 23°27'N, 05°50'E) and the gueltas at the palm trees of Edjif Mellene (Tamada) (1800 m, 23°27'N, 05°51'E). Most are situated in fairly open riverbeds; only the Imeghra gueltas are in a plunge-pool site, while the lower gueltas of Affilal have eroded a number of kettle-holes (marmites de géant) into the Precambrian granite. The top guelta of Affilal, an elongate, weedy pool, is permanent, but the marmites are partially intermittent. All the other gueltas consist of strings of pools in deepened sections of their riverbeds, connected by some running waters for most of the year. Because precipitation at this altitude is fairly evenly spread over the year, the changes in water level are not rhythmical, and floods may wash out accumulated salts from these systems at any time.

2. Water chemistry

A series of analyses was performed on samples collected in February and March 1977. A wide variety of sites was sampled, including almost dry puddles, and the open water of the largest gueltas (see table).

meq.l ⁻¹	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	Cond. 10 ⁻⁶ S. cm ⁻¹
Affilal:								
Guelta	0.8	0.3	1.4	1.1	1.8	0.5	1.0	243
kettle hole	2.2	0.3	1.9	2.8	5.1	1.0	1.1	484
Issakkarassene:								
guelta (mean of 3 sites)	1.0	0.6	2.9	2.3	4.3	0.8	1.1	550
spring	1.0	0.6	1.6	1.6	2.2	0.4	1.6	350
pool	1.2	0.4	6.2	3.9	7.1	1.8	1.5	1100
Edjif Mellene (Tamada):								
least mineralised site	0.6	0.1	0.6	0.1	0.5	0.7	0.2	160
most mineralised site	3.6	0.4	1.4	5.3	6.3	4.1	1.2	915
average of 8 sites	1.7	0.4	2.7	1.1	3.7	1.8	0.9	560
Imeghra (Imarera):								
pool	9.8	0.6	1.8	7.0	5.4	3.7	10.6	1260
guelta	0.8	0.3	1.4	1.5	2.4	1.1	1.0	200

The variation in concentration is roughly one order of magnitude; because of the very weakly mineralised nature of the spring water, even the most concentrated waters analysed are still in the oligohaline range, and not selective for most biota. Altitudinal effects are probably much more important in this respect.

3. Macrophytes

The association of Typha australis and Typha elephantina occurs up to 1600 m; all Atakor gueltas have only T. australis, often in great density. Phragmites australis may also form dense stands, often in places that are only temporarily flooded. Stems up to 4 m in height occur around the twin gueltas of Imeghra. Scirpus holoschoenus, Polypogon monspeliensis, Juncus buffonius often co-occur with it. The drier parts of the oued beds are characterised by Tamarix gallica, Nerium oleander and sometimes fig-trees. Palm trees are rare at this altitude. A small stand occurs at Edjif Mellene (edjif = arabic for palm tree) only. Submerged waterplants include three species of Potamogeton which are fairly common: P. panormitanus, P. perfoliatus and P. hoggariensis. The relict olive tree, Olea laperrinii, lives in erosion gullies that lead to the gorges.

4. Algae

D'Hollander (unpublished) identified a number of algal species from the gueltas. Although her inventory is far from complete, it is the only modern one available, and the only source of information since Gauthier-Lievre (1941). She lists the following 25 taxa: Microcystis incerta, Nostoc sp.; Oscillatoria limosa, Spirulina major, Trachelomonas hispida, T. intermedia, T. volvocina, Peridinium inconspicuum, Volvox rousseletii, Dictyosphaerium pulchellum,

Scenedesmus acuminatus, S. ecornis, Ulothrix sp., Aphanochaete repens, Oedogonium sp, Cladophora glomerata, Closterium leibleinii, C. moniliferum, Cosmarium laeve, C. subprotumidum var. gregorii, C. turpinii, C. turpinii var. hoggaricum, Mougeotia sp., Spirogyra sp., Zygnema sp.

5. Invertebrates

The gueltas are rich in benthic and littoral Ephemeroptera, Trichoptera, water mites and Oligochaetes, few of which have been studied taxonomically. More information exists on the Coleoptera (e.g. De Peyerimhoff, 1938). Species widely found in the Atakor gueltas are Bidessus minutissimus, Hydroporus optatus, H. pubescens, Agabus bipustulatus, Meladema coriacea, Dytiscus circumflexus, Gyrinus substriatus and Ochthebius quadrifossulatus. Some 10 species of Hemiptera (Poisson 1929 a,b) have been reported. Four species are Palaearctic (mainly Notonecta and Corixa), 5 Afrotropical (mainly Anisops), while Anisops sardea is wide-ranging on at least three continents (Hutchinson 1934). The dragonflies are a mixture of eremian species of northern or middle-eastern origin (3 species), with some African relicts (e.g. Trithemis kirbyi ardens), but no Pseudagrion, a reflection of the altitudinal limitations on the fauna. The zooplankton is fairly rich in species, but since most of the gueltas have planktivorous fish, there are few open-water species. In small pools, and in the kettle-holes of Affilal, where no vertebrates are present, the same planktonic assemblage as in Guelta Imlaoulaouene is found. A significant relict species of the Hoggar is the cyclopoid Cyclops abyssorum divergens, which belongs to a genus typical of temperate and northern Eurasia. The closest population of this taxon is found in the Tell-Atlas, Tunisia (Dumont, 1979). Among chydorid Cladocera, the genus Chydorus is completely absent, and replaced by Pleuroxus aduncus and Oxyurella tenuicaudis, both of northern origin, which abound here.

6. Vertebrates

The altitude excludes aquatic reptiles. Rana ridibunda perezi and Bufo viridis represent the Anura. Barbus biscarensis is extremely abundant, and B. deserti has also been claimed to occur. Other species, found in the Tassili-n-Ajjer and even in the Mouydir (e.g. Coptodon zilli) do not tolerate the cold winter temperatures of the high gueltas.

7. Human activity and management

The Atakor area is sparsely inhabited, and the gueltas do not attract human settlements. Quite a few are situated close to the tourist circuit of the Assekrem (which requires a four-wheel drive vehicle), and side roads from the main track lead straight to the gueltas in at least two places. Many tourists therefore visit the gueltas, as a desert feature, but this seems to have little effect, apart from some casual swimming and picknicking, and the danger of human interference with the guelta ecosystem appears remote.

2.3.i. THE GORGE OF ARAK

1. Geography and morphology

The Emmidir or Mouydir mountains, where Arak is situated (25°17'N, 03°41'E) geologically belong to the Hoggar core. They are composed of Precambrian, granitic rock. The climate is more nearly related to that of In Salah than to that of Tamanrasset, a reflection of the lower altitude (560 m) of the main part of the gorge. Its aquatic environment is composed of a number of periodic and permanent gueltas situated in a narrow upper c. 700 m a.s.l. canyon, not easily accessible and a widening gorge at lower altitude (560 m), where the groundwater touches the surface in several places to form shallow, productive pools.

2. Water chemistry

An analysis made on a sample collected in September 1976 in the lower gorge at high water level revealed fresh water, with a total ionic content of c. 13 meq.l⁻¹. Doubtlessly the salinity may rise by an order of magnitude, during dry spells.

Arak lower gorge

meq.l ⁻¹	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄
	2.3	0.26	2.2	1.5	2.6	2.5	1.3

3. Macrophytes

Quézel (1965) regards the association of macrophytes found at Arak as typical for the Sahara; it consists of extensive stands of Typha australis and Typha elephantina with abundant Phragmites australis. Submerged macrophytes include the Potamogeton species found in the Hoggar, Rupia spiralis, and Myriophyllum spicatum. Tamarix gallica and Nerium oleander abound everywhere in the drier parts of the oued bed.

4. Algae

Compère (1967) lists 10 species from an unspecified waterpoint, almost certainly in the lower gorge. Diatoms were the dominant group.

5. Invertebrates

There is a rich insect life in the gorge, very reminiscent of the Tassili-n-Ajjer (Coleoptera, Hemiptera, Odonata). The Middle-Eastern and Mediterranean dragonfly Selysiothemis nigra reaches its southern limit of distribution here. The zooplankton in the lower pools, richly overgrown with macrophytes, is a diverse assemblage of cyclopoids and chydorid cladocera. The water plants also provide shelter for numerous Dipteran and Ephemeropteran larvae, Hydracari, Rotifera, and for Oligochaeta, all of which deserve further study.

6. Vertebrates

There are no fish in the lower gueltas, but Coptodon zillii lives in the higher, permanent gueltas. Rana ridibunda perezii, Bufo mauretanicus and Bufo viridis also occur here.

7. Human activity and management

A bordj (fort), at one time used as a hotel, is found in the lower gorge, close to the weedy pools. It has long attracted tourists to the grandeur and scenery of Arak canyon, but is at present disused. There are, however, still a few fairly sizable Tuareg villages in the gorge. The trans-Sahara highway crosses the gorge. Since it was sealed in 1977, the number of visitors to the gorge has increased by an order of magnitude.

2.4. CHOTT EL DJERID, CHOTT EL FEDJEDJ AND CHOTT EL GHARSA (S. TUNISIA)

1. Geology and geomorphology

Chott el Djerid (c. 33°5'N, 8°E, 4,600 km²), Chott el Fedjedj (c. 33°75'N, 9°E, 800 km²), and Chott el Gharsa (c. 34°25'N, 7°75'E, 600 km²) combine to form the largest closed depression among the lagunar environments of North Africa. It is the easternmost of a chain of depressions that extends deep into Algeria. Chott el Djerid occupies the cuvette of an asymmetrical synclinal. Further East, Chott el Fedjedj reaches as close as 22 km to the Mediterranean shore, just North of Gabes. It lies in the axis of an eroded anticlinal of Palaeocene age. The basin of both Chotts combined is 10,500 km². Their bed lies at a minimum altitude of 15 m a.s.l. Geologically, their northern half rests on Cretaceous rocks, which outcrop to the North and East as low mountain chains (e.g. the Cherb mountains and Jebel Tabaga, of middle Cretaceous age). Their southern part belongs to the Precambrian Saharian shield. The central depressions were subsequently filled by Tertiary and Quaternary alluvial clay and gypsum. The morphology of this area has remained stable since the late Pliocene, when the synclinal of el Fedjedj was eroded to its present level. The Pleistocene is noted for the second orogenic phase of the Atlas (the first one being of early Tertiary, post-Lutetian age). During the Villafranchian, the chain of Cherb was pushed up. A lagoon was established South of it until that time, which communicated with the gulf of Gabes in the East, and extended West as far as Chott Melhrir (Algeria). It became delimited to the North by this crustal movement. However, the communication of the Chotts with the sea (and between the Chotts themselves) was interrupted only in post-Tyrrhenian times (c. 200,000 B.P.). These correspond to the onset of a progressive drying up and salinification of the now closed basins. Coque (1962) finds evidence for alternations of humid-cold and warm-dry spells during the Quaternary in Chott el Djerid. These stimulated mechanical erosion, and added to the rate of sedimentation, previously determined mainly by evaporation.

2. Climate

The average precipitation on the basin of Chott el Djerid is 134 mm.a⁻¹, for a total volume of $1.4 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$. The maximum occurs during winter (October-March), and rains are often torrential. There is a steep gradient in precipitation between the coast (Gabes: 185 mm.a⁻¹) and inland (Kebili: 95.6 mm.a⁻¹) such that the isohyet of 100 mm, defining the onset of true desert conditions, passes right through Chott el Djerid. Air temperatures identify a hot season (March-September) and a winter season (October-February). Maxima are reached in July, with mean maximum of 42°C and a mean minimum of 22°C at Tozeur. In Gabes, the maximum is reached in August and is only 32.3°C, and the minimum 22.4°C, an illustration of the cooling influence of the sea. The winter minima, likewise, are 3.7-15.7°C at Kebili, and 6.2-16.2°C at Gabes, in January. Yearly evaporation is 2.4 m (Metlacui), and average irradiation is c. 18,000 kJ m⁻².d⁻¹.

3. Groundwater geology

The Chott el Djerid basin has three superimposed artesian groundwater tables, separated by layers of impermeable clay. The "continental intercalaire", a term coined by Killian (1922) to indicate the strata between the end of the carboniferous and the middle Cretaceous (Cenomanian), is mainly charging Chott el Fedjedj, and to a lesser degree Chott el Djerid. The "continental terminal", a sequence of clays and gypsum deposited between the Lutetian (middle Eocene) and the Pliocene, charges Chott el Djerid by infiltration of precipitation on the Atlas and Dahar ranges. Outflows from this groundwater table occur on the North and South edges of the Chott, where there are numerous springs with discharges of 3.5-5 m.s⁻¹. Many of them are thermal and their salinity increases from S to N ranging approximately from 1-3 g.l⁻¹. The superficial groundwater (and the surface water) is situated within and on top of Pleistocene clays, sands and gypsum. It is derived from direct precipitation on the Chotts, and to a minor degree from run-off in the basin. Its salinity decreases from the top, where values up to 300 g.l⁻¹ are found, to c. 100 g.l⁻¹ in the underlying sandy layers.

4. Water balance

The combined yearly input into Chott el Djerid and el Fedjedj is $1.22 \cdot 10^9 \text{ m}^3$; $0.48 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ derived from recharging the groundwater, and $0.74 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ from direct precipitation. Runoff represents only 2% of the latter. Evaporation losses (estimated at over 2500 mm.a⁻¹) are, however, well in excess of this, and a negative figure of $6.9 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ (for a surface of 5400 km²) was calculated for one year by Gueddari (1980). He also estimates that, since the Chotts became established in their present form, some 200,000 y ago, $216 \cdot 10^9 \text{ t}$ of salts have accumulated here, either in suspension or as evaporites. This includes, $89.5 \cdot 10^9 \text{ t}$ of halite, and $95.4 \cdot 10^9 \text{ t}$ of gypsum. The post-Tyrrhenian evaporites alone are composed of $18.2 \cdot 10^9 \text{ t}$ of halite, $151.1 \cdot 10^9 \text{ t}$ of gypsum, and $0.6 \cdot 10^9 \text{ t}$ of KCl. The ratio of these salts suggests a continental origin which supports the view that Chott el Djerid functioned as a shallow deposition basin since the end of the Villafranchian, and became evaporative and lacustrine with the closing of the lagoon after the Tyrrhenian.

5. Water chemistry of some surrounding waters

It is pointless to present analyses of the waters of the Chotts themselves; after strong rains in spring, when the basins fill up, dilution occurs, and their waters are turbid and muddy. Sedimentation is rapid and they evolve into saturated brines, that eventually dry up and leave only a salt crust of variable thickness. Surrounding waters are of two kinds: more or less permanent oueds draining towards the Chotts, and permanent springs. All of them are strongly mineralised. Some examples are given in the table.

meq.l ⁻¹	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	Cond 10 ⁻⁶ S. cm ⁻¹
Oueds draining towards Chott el Fedjedj:								
Oued el Hamma	5.2	1.4	20.3	9.1	4.5	25.1	6.8	2931
Oued 80 km								
E. Kebili	13.3	1.0	16.7	10.5	5.0	35.3	7.0	3481
Effluents of springs:								
- draining towards Chott el Gharsa								
Chebika	3.9	1.1	12.2	16.6	4.4	20.2	10.2	2565
Gafsa (Oued el Melah)	3.4	0.1	15.2	8.9	4.3	12.9	8.6	1375
	4.0	0.2	15.3	6.6	4.5	12.8	9.0	1780
- draining towards Chott el Djerid								
Douz	4.3	1.0	12.0	8.0	4.5	20.3	4.5	2315
Djenmaa	2.8	0.9	6.1	4.5	3.3	9.0	2.5	1335
Kebili	6.4	0.7	20.9	21.3	3.4	40.6	9.5	4908
- draining towards Chott el Fedjedj								
El Hamma:								
Ain el Bordj	4.8	1.1	23.0	4.7	6.0	20.3	6.2	2690

6. Biota of the Chotts

The Chotts are poor in plant and animal life. Of the species one might expect in such an environment, Dunaliella has not been cited and even Artemia sp. does not appear to be common. Occasionally, brine pools develop a deep purple colour, indicative of purple bacteria. The ciliate Fabrea salina, sometimes peaks in great numbers. Aggregates of Phormidium corium (cyanobacteria) were found under salt crusts by Serpette (1947). The saline spring El Mensof (20 m), inside the Chott, is richer in cyanobacteria: Aphanothece microscopa, Spirulina meneghiniana, S. subsahara occur here. Two water beetles, Ochthebius salinator and Paracymus maximus also occur. Similarly, a spring exists inside Chott el Fedjedj (Ain Trarfi, 25 m). With less than 6 g.l⁻¹ of total dissolved salts, it is comparable to the springs that abound around the Chotts, and it has a similar fauna. The Cladoceran Daphnia magna occurs here, beside several species of Hydrobiid snails (Seurat 1938).

7. Biota of the Oueds, Seguias and springs

A most diverse fauna and flora is found in the string of springs and oases that surround the Chott area, in the Region of El Hamma (de Gabes), Kebili, Tozeur-Nefta and in the so-called "mountain" oases north of Chott el Gharsa, in the Djebel en Negueb. Thermal springs abound around El Hamma, with water temperatures as high as 51°C. Those at El Hamma itself are quite famous and three among them contain the Pancarid crustacean Thermosbaena mirabilis. Their outflow is characterised by massive developments of filamentous cyanobacteria and associated diatoms (Monod 1940; Dumont 1978), that may extend for some distance into the seguias of the surrounding oases. As the water cools, filamentous green algae, Characeae and, in the more mineralised springs, Enteromorpha develop. Ruppia spp., Zannichellia palustris and Scirpus littoralis are found in the wider sections of nearly stagnant water, and Typha-meadows form locally where swampy sections occur. Among the strands of periphytic algae and macrophytes, a microfauna develops, reduced to nematodes and amoebae in the hot springs. In cooler water, numerous gammarid amphipods, cyclopoid and harpacticoid copepods, and chydorid Cladocera appear, together with snails (Hydrobiids, Melanoides tuberculata, several species of Bulinus), a Pisidium-species and shrimps (Palaemonetes spp.). On damp shores, terrestrial amphipods (Orchestia spp.) and Isopods, the most interesting among which is Saharolana seurati (spring of Ras el Ma near Kebili), abound. Wells in the area have yielded phreatic Asselids: P. coxalis africanus and P. bragadicus. The dominant groundwater animal, however is Gammarus rhipidiophorus. Insects are represented by numerous dragonfly species (Dumont 1977), Hemiptera, and Coleoptera. The saline water beetle Potamonectes cerysi is particularly widespread (Pesce et al. 1981). Among Ephemeroptera, Cloeon dipterum is most common.

8. Vertebrates

No vertebrates venture into the Chotts themselves, but four fish species are native to the fringing oases: the cyprinid Barbus antinorii, the Cyprinodont Aphanius fasciatus and the cichlids Hemichromis bimaculatus and Haplochromis desfontainesi (for which Tozeur is the type locality). Rana ridibunda perezii and Bufo viridis represent the Anura, while Mauremys caspica leprosa has been found in the Oued Gabes and probably occurs in the Chott area as well. Some species of fish have been introduced to the area (see below).

9. Human activity and management

Traditionally the area around the Chotts, because rich in springs, was exploited for palm tree production and irrigated for horticulture. These activities are still extant and have gradually been modernised. Mosquitoes and bilharzia were major health problems. Gambusia was introduced to control the former, although Seurat (1938) criticised this action at an early date and suggested that the local Aphanius should be used for the same purpose. Gambusia has now declined in many oases, but so has the local invertebrate fauna. In addition to the intensive use of insecticides, molluscicides have been applied, and Bulinus has regressed to the point of posing no major threat to public health. Beside Gambusia, common carp has been introduced into some oasis pools e.g. at Douz.

The major stress on the fringing belt of oases is, however, tourism. Within 20 years the oases of Nefta and Tozeur have expanded from big villages to sizeable cities. Although it peaks in summer, tourist activity has now become perennial. There are, as a consequence, serious problems with waste disposal, and most sewage is released directly into some seguias. Another problem is that expanding settlements encroach directly upon the aquatic ecosystems. At Nefta, a major part of the local Typha-marshes have been filled in and destroyed.

A special threat hangs over the hot springs of El Hamma, type locality and sole site of Thermosbaena mirabilis. Of the three springs that harbour it, el Baama was blocked in 1950 and Ain sidi Abd el Khadr was being rebuilt in 1976. The main site, the ancient public baths of Ain el Bordj, were under restoration in 1983. No specimens have been reported in the literature since 1976. In that year, Thermosbaena had become rare at Ain el Bordj, a consequence of the periodic disinfection of the springs. Another factor is the use of detergents in the baths, which flocculate with organic debris and block the cracks in the underwater walls that are the habitat of Thermosbaena.

2.5. NIGER: AIR AND TENERE

2.5.a. BAGHZAN GUELTAS

1. Geology and morphology

The Air mountains are geologically similar to the Hoggar, and are part of the Precambrian (suggarian), granitic Saharian shield. Some volcanic activity persisted until the Holocene, and young (uneroded) stratovolcanoes occur in several places. Morphologically, the Air is a peneplain (400-700 m asl), above which a number of more or less circular table-mountains emerge, consisting of a crystalline core covered by basalt of Pleistocene age. Rivers (= kori) that drain those mountains have eroded their flanks and produced canyons that offer good conditions for the preservation of surface water. Gueeltas and springs are found in even larger numbers in the Air than in the Hoggar. The Baghzan massif is the southernmost of the circular table-mountains. The peneplain at its base is at an altitude of c. 800 m, while the plateau itself is at c. 1500 m. Impressive canyons are found along its eastern flank. For example, the canyon of Nabarou (17°39'N, 8°49'E at its mouth) is an almost perfect vertical incision into the mountain wall, and contains an elongate (several hundreds of meters in length) guelta that is only a few meters wide. The canyon of Ighalabelabene (or Irabelabene), slightly further north (17°42'N, 8°49'E), is V-shaped and gueeltas and springs lie scattered along its length (8 km). On top of the table mountain there is a dry lake bed (Egharghar) which consists of a thick layer of subfossil molluscs (17°49'N, 8°43'E). The kori Nabarou and the kori Telouess (draining Ighalabelabene) merge to form the kori Taghas on the peneplain. The bed of this oued is up to 2 km wide. It is fairly wooded on its sides, in places even forming a forest.

2. Climate

The Air is situated on the transition between the Sahel, with a tropical savanna climate, and the hyperarid Sahara. It shows a steep N-S gradient in annual precipitation over a distance of less than 300 km. The Baghzans are part of the southern Air, and their climate is similar to that of Agades (500 m). Mean annual temperature is 27.8°C. May is the hottest month (mean maximum of 41.8°C, mean minimum 24.6°C). December is the coldest month (max. 28.8°C, min. 10.6°C, abs. max. 33.8°C, abs. min. 5.8°C). Precipitation average for 1922-1960, 170 mm.a⁻¹, peaks sharply in July-August-September and is thus distinctly monsoonal. 90.5 mm (i.e. 55% of the total) falls in August alone, and 90% falls in the three monsoon months combined. The koris flow as soon as more than 5 mm falls in one rainstorm. As in other semi-desert areas, there is strong variation between years e.g. 116 mm in 1957 and 287 mm in 1978.

Winds from the E. dominate from September till June, but monsoon winds from S to W take over in July-August. As a consequence, the western flanks of the Air receive much more rain than the Eastern side, which faces the Tenere.

3. Water chemistry

Some (incomplete) analyses were performed on water from Canyon Nabarou (Aguelmam Tamalaka) and from Ighalabelabane gorge (Aguelmam Thathefit, In Garzamane, and Eghadienn d'Alah). They indicate a low mineral content. pH values were acid to neutral (5.2 - 7.0).

meq.l ⁻¹	Na	K	Ca	Mg	Cl	Cond. 10 ⁻⁶ S.cm ⁻¹
Nabarou: Tamalaka	0.2	0.5	1.1	0.7	1.1	470
Thathefit	0.2	0.2	0.4	0.5	1.1	180
In Garzamane	0.4	0.2	0.9	0.1	1.4	170
Eghadienn d'Alah	0.2	0.1	0.5	0.2	1.4	156

4. Macrophytes: No aquatic macrophytes were noted.

5. Phytoplankton

A detailed study of the algae from this area was carried out by Compère (1980), who lists 530 taxa from 34 localities. The Ighalabelabene gueltas, which were sampled shortly after the monsoon rains of September 1977, were dominated by Volvocales: Volvox spp., Eudorina elegans, Pandorina morum, Gonium pectorale and Chlamydomonas spp; Sphaerocystis schroeteri was also abundant. Nitzschia palea was the dominant diatom, accompanied by Cymbella hustedtii f. stigmata and Stauroneis anceps. In some gueltas, and in the dammed up spring Thagar, filamentous green algae of the genera Ulothrix, Stigeoclonium, Oedogonium and Spirogyra were found, along with the diatoms Synedra ulna and Navicula confervacea. In Nabarou canyon, Cyanobacteria were the dominant group, with Lyngbya majuscula the main species, but otherwise the same filamentous green algae, desmids, and diatoms as in Ighalabelabene.

6. Invertebrates

Bulinus truncatus (Fischer-Piette 1950) is the only recent mollusc so far recorded from the Baghzans; Crustacea are represented by Streptocephalus torvicornis (Monod 1950). Triops granarius and Caenestheriella crinita were abundant in the lower gueltas in September 1977, accompanied by Metadiaptomus mauretanicus, Neolovenula alluaudi and Paradiptomus greeni. The following dragonfly species occur: Anax imperator, Orthetrum brachiale, Trithemis arteriosa (Fraser 1950). In addition, Dumont (1978) recorded Ischnura saharensis, Orthetrum chrysostigma and Pantala flavescens. A list of water beetles is given by Guignot (1950). It includes Hydryphus africanus, Guignotus major, G. angularis, Rhantaticus congestus, Eretes sticticus, Dineutes alreus and Gyrinus regimbarti. All are Afrotropical except the last which is of Palaearctic origin. Poisson (1950) cites the following Afrotropical Hemiptera: Laccocoris limogenus, Enithares sobria, Anisops debilis and Sigara hoggarica.

7. Vertebrates

No fish occur. The only amphibian cited from the Baghzans is Bufo regularis. In September 1977, it was extremely common in all koris immediately after rain showers. There is a doubtful record of Mauremys leprosa from Agades (2 specimens) (Chopard & Villiers 1950).

8. Human activity and management

There are some small Tuareg villages on top of the Baghzan plateau. Mule caravans regularly travel up and down the gorge of Ighalabelabene for trade with Tabelot, the main village on the peneplain. The gueltas are not exploited for any particular purpose and only the dammed-up spring of Thagar is used for local irrigation.

2.5.b. TIMIA

1. Geology and geomorphology

The kori Timia (18°06'N, 8°46'E) drains the E. flank of the table mountain Adrar Egalah, which is covered by a thick layer of basalt. On the S-E flank a fault across its bed causes the underflow to form a spring, which has eroded a narrow, cascading canyon through the basalt, and ends up in a large (30 m across), circular guelta fed by a perennial waterfall. Inside the gorge, numerous small plunge-pools are found. This is the area known as Timia. Its climate is intermediate between that of Agades and Iferouane (see below), but no data were available to the present author.

2. Water chemistry

An analysis of the water of the guelta (b) and of a nearly dry pool downstream (a) is given below. Both are in the oligohaline range, but

a concentration effect is obvious in the pool. Salts, however, do not accumulate at Timia, because several floods occur each year and wash them away.

meq.l ⁻¹	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	Cond. 10 ⁻⁶ S. cm ⁻¹
Timia a	4.6	1.3	1.5	0.4	1.5	2.5	1.4	880
b	0.4	0.4	1.5	0.07	0.8	0.9	0.2	150

3. Macrophytes

In March 1976 and May 1980, the main guelta was richly overgrown with Potamogeton spp. Above the main fault lies the oasis of Timia, an extensive date-palm plantation. It contrasts with Hyphaena thebaica, the native dum palm of the area, which is widely distributed along the edges of all main koris.

4. Algae

Compère (1980) found an abundance of filamentous green algae (genera Oedogonium, Mougeotia, Spirogyra), accompanied by numerous Cyanobacteria, a few flagellates, and some green algae. The most abundant diatoms were Rhopalodia gibberula, Anomoeoneis sphaerophora, Synedra ulna and Amphora ovalis var. pediculus.

5. Invertebrates

Bulinus sp. abounds in the guelta. No comprehensive inventory of aquatic insects is available except Odonata. The damselfly Ischnura saharensis is noteworthy, but also the desert gomphus, Paragomphus sinaiticus. The zooplankton is rich and varied, and consists of Streptocephalus torvicornis, large calanoids, Daphnia and numerous small chydorids. An as yet undescribed groundwater Isopod (family Microcerberidae) occurs at the spring.

6. Vertebrates

There are no species on record, but the toad Tomopterna cryptotis occurs at Elmeki, to the North, and its presence at Timia is therefore probable.

7. Human activity and management

The permanent village of Timia is situated above the fault, a few kilometers upstream of the gueltas. The latter are of no direct use to the community, which irrigates the edges of the valley from numerous wells in the kori. Bilharzia, which has a high incidence among the Tuareg of Timia, is an important health problem.

2.5.c. THE TAMGAK GUELTAS

1. Geology and geomorphology

The Adrar Tamgak (c. 19°19'25"N, 8°30'- 8°50'E) is the major mountain massif of the north-eastern Air. It is entirely granitic, and faces the Tenere plain to the East. The plateaux are around 1600 m, with peaks close to 2000 m. To the West, it is bounded by the Air peneplain, with a mean altitude of 600-650 m. One major kori, the kori Tamgak, has cut a deep, weakly crescent-shaped, E-W oriented, canyon across the massif. It springs at about 1450 m, close to the eastern wall of the Adrar Tamgak, and is augmented on its westward course by numerous short side-canyons. Some of these have also cut steep gorges. One major tributary, the kori Zakkat, joins up with the kori Tamgak in the West, at an altitude of 680 m. It is North-oriented, and springs at about 1600 m. West of the junction, the kori is called Ougourou. It winds through a wooded depression, in places over 2 km wide, and carries a rich supply of groundwater. This has attracted several Tuareg settlements, the largest of which is Ifrouane. The Tamgak system has a major concentration of gueltas and springs. About 50 of them are more or less permanent, but only a few have been explored. The kori Tamgak only flows periodically, except in depressions, where the ground water flow surfaces over distances of 50-100 m (e.g. Teguidamo). Other spring-like situations are seepages from the side-walls of the gorge (e.g. Aboubdoub). Most common, however, are typical gueltas in deep, steep-walled canyons, and plunge-pools (e.g. Agoum).

2. Climate

Yearly precipitation at Ifrouane (680 m) is 63.2 mm, slightly more than one third of the amount recorded at Agades. Rainfall still peaks in July-August-September, with a maximum of c. 30 mm in August alone, but the overall conditions are clearly desertic. The influence of the monsoon is well defined but weak. This tendency is also reflected in the temperatures, especially the daily ranges and the minima which are, respectively wider and lower than at Agades. The highest temperatures occur in July (41.1°C), while January is the coldest month, with an absolute minimum of 1.5°C, and a mean minimum of 7.5°C. Night frost is not exceptional in December and January.

3. Water chemistry

Samples collected in March 1977 disclosed a very weakly mineralised water in different sectors of the gorge. The water chemistry of the kori Ougouri wells at Ifrouane is not very different from that of the sheltered gueltas, while even the exposed gueltas (Teguidamo) are only slightly more concentrated than the groundwater, presumably as a consequence of their flowing nature.

meq.l ⁻¹	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	Cond. 10 ⁻⁶ S. cm ⁻¹
Iferouane (-20 m)	0.6	0.3	1.9	0.4	1.7	0.9	0.6	245
G. Agoum	0.3	0.3	1.4	0.5	1.1	0.7	0.4	152
G. Teguiddamo								
1	2.3	0.5	2.7	0.8	2.8	1.1	1.2	360
2	1.0	0.4	3.4	0.2	2.5	1.1	1.0	360
G. Aghagha	0.8	0.8	2.4	0.7	1.6	0.9	1.1	255

4. Macrophytes

Agoum is devoid of Macrophytes; extensive Typha-meadows surround the gueltas of Teguiddamo and Aghagha. In the open water of the latter, Potamogeton spp. are abundant.

5. Algae

Compère (1980) found Chara globularis, C. braunii and an aquatic liverwort, Riella cf. cossonii in guelta Agoum, besides flagellates, Cyanobacteria, Chlorophyceae, and more than 40 species of diatoms. Anomoeoneis spaerophora, Nitzschia levidensis and N. cryptocephala var. exilis were the dominant species. In Teguiddamo, Chara globularis and C. zeylanica occurred, besides large cyanobacterial colonies such as Dichothrix orsiniana and Scytonema figuretum, numerous large filamentous green algae (Draparnaldiopsis alpina, Dichothrix tibetica, Zygnema airense, mucilaginous plates of Tetrasporidium javanicum) and a host of small species e.g. Synedra ulna, Rhopalodia gibba, Achnanthes exilis, Nitzschia amphibia and Navicula minima. The seep of Aboubdoub is coated with filaments of Oedogonium, Mougeotia, Spirogyra and Rhizoclonium hieroglyphicum, accompanied by Cyanobacteria and diatoms (e.g. Epithemia argus, Achnanthes exilis, Navicula cryptocephala, Cymbella microcephala and C. delicatula). The Aghagha pools are rich in larger forms such as Chara braunii f. perrotetii, Cladophora glomerata, Oedogonium spp., Spirogyra spp., Lyngbya majuscula and small diatoms (Cocconeis placentula, Nitzschia amphibia, Synedra ulna, Amphora ovalis var. affinis, A. ovalis var. pediculus and Navicula minima).

6. Invertebrates

No data on Hemiptera, Coleoptera, or Ephemeroptera have been published, although these groups all have representatives in the canyon. Remarkable dragonflies are Ischnura saharensis, Paragomphus sinaiticus, and Orthetrum ransonneti. The open-water plankton of Agoum is dominated by Anostraca, large Calanoids and large Daphnia; the weedy Teguiddamo and Aghagha have numerous Chydorids, but not the genus Chydorus s.s. Instead, Oxyurella tenuicaudis and Pleuroxus aduncus abound. Bulinus truncatus (Mollusca) is found nearly everywhere.

7. Vertebrates

No aquatic vertebrates have as yet been reported from Tamgak canyon.

8. Human activity

Tamgak canyon is not permanently inhabited, but Tuareg pastoralism in the valley is common.

2.5.d. DJADO, FACHI AND THE KAOUAR OASES

1. Geology and geomorphology

This area (c. 18-21°N, 11-12°5'E) belongs to the Lake Chad drainage basin. Geologically, its outcrops become younger from the North to the South. The plateau of Djado is of Palaeozoic, mainly Devonian age, while the cliffs at Bilma and Fachi are Cretaceous. Further South, at Agadem and in the isolated massif of Termit, rocks of tertiary age are found. The major part of the basin (the Tenere plain) is covered by wind-blown Pleistocene sand-dunes. During the late Pleistocene and Holocene, important lacustrine phases occurred in this currently hyperarid region. At Bilma, for example, there is evidence for lake formations older than 40,000 BP, while there were lacustrine episodes at Fachi around 22,000 BP, 8,500 BP, and again around 3,500 BP. The Kaouar cliffs, North-South oriented, face the Tenere to the West, and have a string of oases watered by numerous natural springs at their feet, augmented by man-made wells. The springs presumably draw water from the continental intercalaire sensu Killian (1922). Each year the discharge of the Bilma springs increases in November, approximately four weeks after the monsoon rains start in the Tibesti. This suggests that the watertable is recharged, through the underlying sandstone, with water percolating into the continental intercalaire at the foot of Tibesti. During this century the artesian pressure on the deep groundwater has produced, largely through human intervention, some artificial lakes in the area. First the lake of Arrigui, North of Dirkou was created. In 1981, a borehole drilled near the bordj (fort) of Bilma, began inundating the depression and could not be stopped, in spite of efforts to close it by explosions (E. Schulz, pers. commun.).

The Pleistocene and Holocene lakes in the Kaouar area were of the piedmont type, and derived water from precipitation, runoff from the cliffs behind them, and from a water table higher than today. Some of the deeper depressions have since evolved into brine pools (salines), e.g. at Bilma and Fachi, where salt is still exploited on a commercial scale. It is exported by camel caravans to the Air and marketed at Agades.

2. Climate

The climate of the Tenere is a true desert climate, although the South is increasingly under the influence of the summer monsoon. In the Djado-Bilma area yearly rainfall is about 10-20 mm.a⁻¹ (but 10 mm.a⁻¹ in the Tenere proper; 22 mm.a⁻¹ at Bilma). Several consecutive years without any precipitation are no exception. Bilma has an average of two rainstorms per annum. The sky is totally free of clouds for about 90% of the time and, while in July-August mean monthly temperatures of 45°C have been recorded (e.g. at Bilma), temperatures may drop to well below freezing in December-January (-6°C), with daily temperature amplitudes of 25° or more. Under these

circumstances annual evaporation is c. 6 m. Strong winds, accompanied by dust storms, predominantly from the NE-sector, occur during winter.

3. Water chemistry

The chemical composition of the waters of the Djado-Kaouar area varies tremendously from place to place. Most of the natural springs, like Midjigatene (356 m, 18°36'N, 12°57'E), and the springs at Bilma itself (350 m, 18°42'N, 12°55'E) are fresh, but at the other extreme Kalala, the saline of Bilma (now flooded) is a saturated brine. The lake at Arrigui (19°05'N, 12°55'E) and the pools at Djado (the latter of natural origin) (21°01'N, 12°17'E) are saline, but with a chemical composition that varies strongly with water level and season. Man-made wells in the Tenere tend to be found in depressions, and usually contain salty water. The isolated well of Tiguedelane (18°32'N, 12°28'E) is rich in sodium carbonate, while the well of Kao Saoua South of Fachi (18°04'N, 11°36'E) is reputedly loaded with magnesium salts.

4. Macrophytes

The lakes are fringed by Typha meadows (T. australis and T. elephantina), occasionally mixed with Phragmites australis. These in turn are surrounded by grasses (Desmostachya bipinnata, Imperata cylindrica, Saccharum ravennae) associated with Tamarix brachystylis. Seventeen species of submerged waterplants have been cited from this area, 14 of which are also found in the Borkou oases (see 2.7: Chad), but Pistia stratiotes, Panicum longijubatum and Jussiaea erecta are limited to the Kaouar oases. Heleocharis tibetica is endemic to the area (Monod 1950; Quézel 1965).

5. Algae

Few data are available. Compère (1967) provides a list of 19 species collected in an unspecified waterpoint with neutral pH near Segueddine (20°12'N, 12°59'E) North of Bilma. Diatoms were dominant (15 species), and there were only 4 species of Cyanobacteria.

6. Invertebrates

Not much is known. Jacquemart (1974) studied the Collembola that occur in the wet areas around the pools of Djado and Arrigui (mainly Seira spp.). The dragonfly Ischnura saharensis has been cited from Djado, and Sympetrum fonscolombei and Crocothemis erythraea occur at Bilma (Dumont 1982). The plankton is not known in sufficient detail. A saline cyclopoid copepod of oriental origin, Apocyclops dengizicus has been collected at Djado and Bilma (Dumont 1979), but in the same area Daphnia magna also occurs.

7. Vertebrates

There appear to be no native aquatic vertebrates in this area, although some Anura could live at Djado: Oreochromis aureus has been introduced at Bilma.

8. Human activity

The salt works at Salala (Bilma) are famous throughout the Sahara. Traditional irrigation and garden culture is the main activity of the Kaouar oases.

2.6. THE LIBYAN DESERT (Coastal Libya is in Region 1) (Fig. 2.5)

2.6.a. GHAT REGION (Ghat, El Barcat, Habschat, Feuet, Tounin, Tin Djeraben)

1. Geography

Ghat is situated 80 km NE of Djanet, at 640 m asl. (25°N, 10°25'E). It lies at the outer rim of the Inner Tassili and on the western edge of a wide Southwardly oriented valley that belongs to the Intra-Tassili fork. At the E. and S. of the city itself, there are gardens watered by 20 natural springs and a large number of wells. There are about 9000 palm trees in Ghat. The small settlement of Tounin (c. 250 inhabitants) lies 1 km to the W. and has 4500 palm trees and 15 springs. Tin Djeraben has 3 small, permanent, spring-fed lakes; Habschat has a single spring-fed lakelet, and El Barcat, c. 12 km S of Ghat has numerous pools and swamps, in addition to two larger ponds. Feuet, East of Ghat, has 3 springs and pools, including the so-called round spring.

2. Climate

At Ghat it is the same as for Djanet (refer to section 2.3.c).

3. Water chemistry

Most of the springs and pools in the Ghat area are considered to have fresh water, except for the temporary inundations of the Sebkha of Ghat which collect after rainstorms. An analysis of major ions performed on samples collected in June 1978 confirms this:

	Na	K	Ca	Mg (meq.l ⁻¹)	HCO ₃	Cl	SO ₄	Cond 10 ⁻⁶ S. cm ⁻¹
Major pool of El Barcat								
	0.7	0.04	2.0	0.7	2.3	0.9	0.2	185
Ghat: pool								
	1.3	0.01	2.2	1.4	3.0	1.2	0.4	412
Ghat: artificial basin								
	1.2	0.01	2.0	0.7	1.3	1.7	0.3	252

4. Macrophytes

The shallow eutrophic pools all tend to be invaded by macrophytes. The uncommon Terpsinoe musica, rather steno-ionic of freshwater and typical of Northern Saharan areas, is found at Habschat and El Barcat. At all other sites there is an abundance of Phragmites australis, Typha spp., Juncus spp., Potamogeton spp. and Utricularia spp.

5. Algae

Marchesoni (1947), in a study of the algae of the Fezzan and of Ghat, stressed the algological richness of the Ghat area, and found an abundance of Diatoms, Protococcales, Cyanobacteria and other groups. In all, he recorded over 210 species. Chara spp. abound in many of the pools.

6. Invertebrates

There is a rich assemblage of Hemiptera, Coleoptera, Diptera, Ephemeroptera and Odonata related to that of the Tassili-n-Ajjer, but even more diverse, and with the Afrotropical element even more dominant. For example, among the Odonata Pseudagrion hamoni and Agriocnemis sania occur. The Mollusca seem to be represented by only 3 species: Melanoides tuberculata, Biomphalaria pfeifferi and Bulinus truncatus. The zooplankton of the pools that contain fish, or to which fish have been introduced, are poor in species, but in some temporary pools adjacent to the permanent ones, Triops granarius and probably large euphyllopods are common.

7. Vertebrates

Two fish species are native to the area, and Clarias lazera lives in at least two oueds North of Ghat. El Barcat is the type locality for Barbus deserti but it also occurs at Ghat itself. Hemichromis bimaculatus also occurs in two ponds at El Barcat, and in two ponds at Feuet. However, Gambusia has been introduced to almost all oasis waters, even including shallow wells, and has greatly impoverished the original biocenoses there. Amphibia include Rana ridibunda perezi, Tomopterna cryptotis, Bufo regularis and Bufo viridis.

8. Human activity and management

Ghat is inhabited and the surrounding oases have attracted permanent settlements and oasis agriculture. Malaria and bilharzia used to be major health hazards in the area. The introduction of Gambusia in the 1930s and the later extensive use of insecticides have solved the malaria problem, but have probably extinguished many non-dipterans as well (e.g. in 1978 none of the Zygopteran species present in the 1930s were found). The expanding city of Ghat also encroaches upon the marshes of the oasis itself and at El Barcat, the type locality of B. deserti had been temporarily drained in the 1970s, and transformed into a cemented basin. Whether the fish still occurs there is unknown.

SAHARA

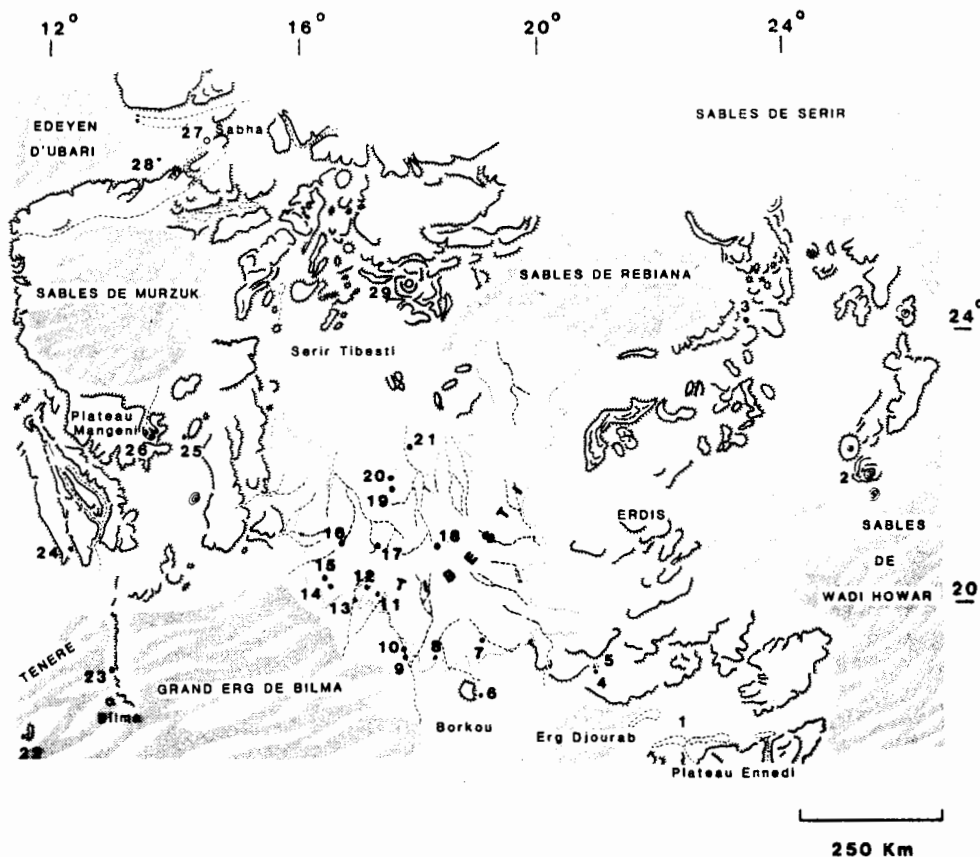


Fig. 2.5 Locations of permanent and ephemeral surface waters in the Central-Eastern Sahara. 1-Sebkhas of the Mourdi Depression, 2-Jebel Uweinat Gueltas, 3-Lake Kufra, 4-Lake Yuan, 5-Lake Ounianga, 6-Tigui Guelta, 7-Yi Yera Guelta, 8-Tougouma Guelta, 9-Oudingue Guelta, 10-Totous Guelta, 11-Marou Guelta, 12-Goy Guelta, 13-Sherda, 14-Mourso Guelta, 15-Orungi Guelta, 16-Trou au Natron Guelta, 17-Sobouroum Hot Spring, 18-Yebbi bou Spring, 19-Aozou Guelta, 20-Yomadji Guelta, 21-Kayougue, 22-Fachi, 23-Lake Arrigui, 24-Small Lakes of Djado, 25-Toummo Spring, 26-Guelta of the Oued el Kebir el Garegh, 27-Lakes of Ramlat Dawada, 28-Mandara, 29-Crater of Wau en Namus.

2.6.b. THE LAKES OF THE RAMLET DAWADA

1. Geography

The erg of Ubari is one of the large, late-Eocene to Pleistocene sandseas of the Fezzan. An eastern extension (the Ramlet Dawada), West of the city of Sebha ($27^{\circ}04'N$, $14^{\circ}05'E$) and NE of Ubari, contains a series of permanent salt lakes in depressions between the sand dunes, where the groundwater table touches the surface. The groundwater even seems to emerge under some pressure (Schiffers 1950). The positions, surface area and nomenclature of the lakes vary on different maps (Monod 1969). Desio (1937) estimates the total number of lakes and pools, concealed in the dunes of Ramlet Dawada, at 10. Mandara, the largest, has a diameter of c. 300 m. It is roughly oval in shape and very shallow. Another, Oum-el-Ma, is elongate, lens-shaped, and probably several meters deep. All these lakes (Mandara, Oum-el-Ma, Bahar-et-Truna, Bahr el Dud = Gabr Aoun, Oum el Hassan = Tademka, Nech Nuchia...) are closed basins and saline.

2. Climate

The climate at the lakes is the same as that of the nearby city of Sebha. June is the hottest month (average $32.3^{\circ}C$), and January the coldest ($11.2^{\circ}C$). Mean annual temperature is $22.9^{\circ}C$. Daily temperature amplitudes may reach $25^{\circ}C$. The lowest temperature recorded is $0.1^{\circ}C$ in January 1931. It may thus occasionally freeze at ground level. The hottest temperatures recorded are in the range of $49^{\circ}C$ (July 1932, Murzuk). Relative humidity is about 28-35% in summer, increasing to 50% in winter. Winds are from the NE-sector throughout the year, occasionally turning to East. Cloudiness is rare and only during April-May does some cloud cover occur. Rainfall is 10 mm.a^{-1} and totally rainless years are not uncommon (on average 1 per 12 years). Wide variations are the rule (e.g. in the 1930s no rainless years were recorded and precipitation varied between 6.8 and 30.3 mm).

3. Water chemistry

Bellair (1945) showed that the differences in salinity among the lakes span two orders of magnitude. The water of Tademka is mesohaline, but Nech Nuchia at the other extreme is a saturated brine. Some of Bellair's results, taken from Monod (1969), are presented below:

	Na (g.l^{-1})	Cl (g.l^{-1})	residue at $180^{\circ}C$ (g.l^{-1})
Gabr Aoun	32.36	41.53	100.1
Mahfou	26.13	35.67	77.8
Tademka	1.81	2.19	5.2
Oum el Hassan	39.40	71.35	124.8
Trouna	63.27	53.60	161.2
Nech Nuchia	164.16	183.18	416.5
Fredgha	58.26	23.60	144.4

Another analysis carried out on samples collected from lakes Mandara and Oum-el-Ma in June 1978 is given below.

meq.l ⁻¹	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cond. 10 ⁻⁶ S. cm ⁻¹
Mandara:						
freshwater swamp	6.1	0.9	6.4	2.4	5.9	2565
main lake	218.3	88.2	3.1	73.8	9.9	>10 ⁴
Oum el Ma:						
main lake	100.6	32.8	14.8	82.6	7.3	>10 ⁴

The spring-fed swamp around Mandara is fairly fresh, but the open water is at saturation point, and continuous precipitation of salts can be seen.

4. Macrophytes

None recorded. The springs and wells that surround the lakes support extensive date palm plantations.

5. Algae

No records. Characeae abound in the freshwater swamps around Mandara, and filamentous green algae with associated diatoms are plentiful there as well but have not yet been studied taxonomically. Possibly, the liverwort Riella occurs in Gabr Aoun (Monod 1969), while Dunaliella and Nostoc are supposed to live in the Artemia-lakes.

6. Invertebrates

The lakes of the Ramlet Dawada are famous because some of them (e.g. Gabr Aoun) contain the brine shrimp Artemia sp., originally described from here as Artemia oudneyi Baird. It co-occurs with the fly Ephydra macellaria. In Mandara, larvae of Stratiomyid dipterans are also found. In the low-salinity springs and marshes, waterbugs, dytiscid beetles and dragonflies occur. A significant species is Ischnura fountainei, typical of spring environments in deserts and semideserts. The gastropod Bulinus truncatus is also found here (Van Damme 1984). The zooplankton is rather poor, and consists of small cyclopoid copepods (Cryptocyclops linjanticus, Paracyclops affinis) only.

7. Vertebrates

No fish occur. Anura were seen at Mandara (pers.obs) but none were captured.

8. Human activity and management

The small human communities that inhabit the oases fringing the lakes are negroid and seem to be of Kanuri descent. They may have retreated into the dunes of Ramlet Dawada at the end of the neolithic humid spell (c. 5000 B.P.), when the oued Tafassasset, which united the

Tassili-n-Ajjer to Lake Chad, dwindled and finally dried up. They survived here, adapting to a unique diet of animal proteins, i.e. dried Artemia-cakes. The plankton nets used for fishing are made, and the fishing is performed only by the women. The name DAWADA, given by the surrounding Arabs to the lake people, is derived from dud, or worm, and refers to this remarkable example of human ecology. The dawada people distinguish between different types of "worms". A red type, highly valued (douda), and a pale type, of lesser quality (takerouka) are recognised, corresponding to a dominance of Artemia or of Ephydra, respectively. An alga (danga), whose taxonomy is still uncertain is mixed with the worms while they dry in the sun. An analysis of the cake was published by Monod (1969), who found it to be rich in essential amino-acids. This diet of "douda" is supplemented by dates. Apart from this unique symbiosis of man and lake, bilharzia is a health problem in this area.

2.6.c. WAU EN NAMUS

1. Geography

The crater of Wau en Namus, situated 150 km SE of Wau el Kebir (24°54'N, 10°43'E), is about 5000 years old. It is a very young volcano and the most Southeasterly of the eruptive chain in the Djebel el Haroudj region of Central Libya. It is situated on a flat stony plateau, or Serir, and surrounded by an elliptic ring of black lapilli which encircle the crater opening over a distance of 5-10 km (Pesce 1960). The crater itself, sunk into the Serir, has a diameter of 4 km. A volcanic cone, 120 m high, stands in its centre and is surrounded by three large and two small lakes. The total surface area of these lakes is c. 320,000 m² and their altitude 434 m a.s.l. The volcano itself may still have been active in historic times, and there is a hot spring in one of the major lakes, an indication of residual volcanic activity. The lakes are saline, fed by groundwater and surrounded by numerous freshwater springs. Digging a 1 m hole in the bottom of the crater suffices to reach the groundwater in most places. In spite of the strong local evaporation (see below), the major lakes vary little in area, but the small lakes may occasionally dry up. Due to a lack of continuous observation, the magnitude and rhythmicity in water level variation is, however, uncertain. Desio and Richter found the so-called "red-lake", one of the 2 smaller water bodies, dry in 1931 and 1942, but it was full in 1940, 1955 and 1958. There are no climatic observatories in the immediate vicinity of Wau an Namus, but yearly precipitation can be estimated at 5 mm. a⁻¹ maximum, and temperatures are similar to those at Sebha. Richter (1958) estimates the yearly evaporation to be a minimum of 5 m.a⁻¹, and calculates a yearly water loss from the lakes to the atmosphere of 1.6 10⁶m³. With a possible age of 5000 years, this explains why they have become saline.

2. Water chemistry

Desio (1937) states that the brines are NaCl-dominated. Schwabe & Simonsen (1961) found a total residue at 180°C of 175.6 g.l⁻¹ in the main Southwestern lake (= lake 3; 14.6 ha, max. depth 12.5m shape triangular), and the following ionic composition: Cl 53 g l⁻¹; Na + K 97.7 g l⁻¹; Ca 106 mg l⁻¹; Mg 527.8 mg l⁻¹; SO₄ 31.4 g l⁻¹.

3. Macrophytes

The lakes are extensively fringed by Phragmites which, in lake three, occupies an area of 3.3 ha. There is no information on other hygrophytes. An oasis of wild date palms, intermixed with Tamarix nilotica, adds to the beauty of the lakes' scenery (Jany 1969)

4. Algae

Schwabe & Simonsen (1961) studied the Diatoms (22 spp) and Cyanobacteria (4 spp) from lake 3. Among the diatoms about equal numbers of strongly euryhaline oligohalobionts, euryhaline mesohalobionts and polyhalobionts were identified. No doubt this inventory is in need of updating. No information on the other lakes has become available. The "red lake" may derive its colour from purple bacteria, Dunaliella, or both.

5. Invertebrates

The damselfly Ischnura saharensis has been reported from the crater of Wau en Namus (Aguesse 1958), but the oasis derives its name from the huge swarms of mosquitoes (namus = mosquito) that make life for warm-blooded vertebrates a torture here. Possibly, this is why the oasis is uninhabited. No Mollusca or Crustacea seem to have been collected here so far.

6. Vertebrates

No records, except for waterfowl, which commonly visit the lake edges.

7. Human activity and management

Wau en Namus lies on the caravan route between Sebha and Kufra, and was an important water point between Wau el Kebir and Tazerbo. The latter function has now greatly declined, as caravans have become rare. Although the oasis is not inhabited today, Shiffers (1950) thinks that at some earlier date, there was a permanent settlement of Tibu people in the crater.

2.6.d. KUFRA

1. Geography

The oases of Kufra (24°12'N, 23°18'E) are situated in the NE-corner of Sarra, a low plateau of Nubian sandstone in eastern Libya. Kufra itself occupies a flat, oval basin of Nubian sandstone, and is surrounded on all sides by low mountains and hills (400-600 m high). The E-W diameter of Kufra basin is 110 km, the N-S diameter only 60 km. To the W. extend the sands of the Rebiana desert. The groundwater table is close to the surface throughout this area, and lakes are found in depressions in the Rebiana erg, as in Bzema and Rebiana oases, but no details of them are available. In Kufra area (El Giof, and surrounding villages), there is a series of small, usually saline (predominantly natron) lakes.

Salinity appears to vary strongly between lakes, some being surrounded by a salt crust, and others not (Compère, 1967). These differences are similar to the situation described for Ramlet Dawada, and perhaps for the same, not yet fully understood reasons. J. Léonard (in Compère, 1967) sampled two lakes at Goudouie, El Gïof. These are presumably not the two lakes discussed by Desio (1938), and called Hafun (389 m a.s.l., 46,800 m² area, max. depth 3.8 m, bottom covered with Na₂SO₄ crystals; hypersaline to the extent that man floats in them) and Buema (383 m a.s.l., 39,500 m² area, 2.8 m max. depth; bottom grey, saline, hypersaline). The inventory of the surface waters of Kufra is hence in need of updating. All, however, derive their water from the underlying, Palaeozoic groundwater table.

2. Climate

Precipitation is extremely low (1.9 mm.a⁻¹), and 1 year out of every 2.6 is completely rainless. The maximum precipitation ever recorded is 12.5 mm.a⁻¹. Temperatures peak around August, with monthly averages of c. 31°C. Maxima exceed 45°C in July quite regularly. Minima are reached in January and February, and are about 12-13°C. Absolute minima, in these same months, may descend to -2°C. Cloudiness is extremely low, and potential evaporation is close to 6 m. a⁻¹.

3. Macrophytes

In lake 1, Compère notes a bottom meadow of Ruppia maritima, and a fringe of Cyperus laevigatus, mixed in places with Phragmites communis along the wet margins of the lake. Behind this fringe, in drier places, a second girdle of Juncus maritimus and finally stands of palm trees and Tamarix occur. The lakes studied by Desio (1938) were also broadly surrounded by reeds.

4. Algae

Compère (1967) lists algae collected in two pools at Goudouie, El Gïof. Lake 1 (saline) contained numerous filamentous (Oedogonium, Zygnema) and unicellular algae (70 species), most of which were euryhaline freshwater species (unfortunately, no chemical analysis of this site is available). In lake 2, Chara vulgaris also occurred.

5. Invertebrates

There is little reliable information on aquatic insects. Navas (1931) gives a list of Odonata which includes Ischnura senegalensis. No recent Mollusca are on record, but Bulinus may be expected here. Desio (1938) states that Lake Hafun was very rich in plankton, but his samples have been lost. In samples collected by Léonard, some unusual Crustacea were found. These include Chydorus sphaericus, a cladoceran not found in the Sahara except here and in the Tibesti, and the calanoid copepod Tropodiaptomus incognitus, a species typical of Lake Chad (Dumont & Verhey 1984). The large Cladoceran Daphnia magna has also been found, an indication that vertebrate predators are absent. The exact collecting sites of all these species are unknown; it is unlikely that they were found in the open water of the saline lakes. Rather, they would be expected in the outflows of the springs that feed the lakes, which locally form freshwater puddles, large enough to permit their survival.

6. **Vertebrates:** None recorded. Some Anura should occur.

7. Human activity and management

There are several villages in Kufra area. The traditional oasis functions are supplemented by that of an important market place, because Kufra is at the crossroads between two major caravan routes. In the 1960s, major irrigation schemes, involving huge revolving sprinklers (2 km across) were started. They rely on the groundwater reserves, and use the fossil energy which is abundant and cheap in Libya.

2.7. NORTHERN CHAD (Figure 2.5)

2.7.a. TIBESTI: GUELTIAS OF TOTOUS

1. Geology and geomorphology of the Tibesti area

The Tibesti range (c. 10^5 km^2 surface area) is situated in the South-central Sahara, at about equal distances from the Mediterranean Sea and Lake Chad. It is a mountain triangle with sides c. 400 km, and extending between 19-23°N and 15.5-20°E. The highest peak of the Sahara, the Emi Koussi, is found here (3415 m), but there are more than a dozen peaks of more than 3000 m. The average height of the Tibesti is 2000-2200 m. It is surrounded by low plateaux: the Serir Tibesti (500-800 m) in the North, the deeply dissected Sarra-tableland in the East, and the Plateau of Tchigai, that leads to the erg of Bilma, in the West. In the South-east, the Borkou depression separates the Tibesti from the Ennedi.

Geologically, three main zones can be distinguished. The Precambrian crystalline basement surfaces in the North-west, in a narrow zone of the North-east, and in the South. Palaeozoic rocks cover most of the West, the South and the East, with sandstone the dominant form. Finally, volcanism of Tertiary and Pleistocene age, associated with the alpine orogenetic movement and with a clockwise rotation of the African continent, has produced a thick layer of basalt covering most of the high central region. Postvolcanic activity is still extant; fumaroles, solfatari and mud pots occur near Trou au Natron and Emi Koussi, and over a dozen hot springs are found in Soborom (Tarsi Voon plateau, Central Tibesti). Their temperatures range between 21.5 and 88.5°C. There are more hot springs in the East (Yi Yerra, 850 m, South-east flank of Emi Koussi, 37°C). Unfortunately, the biology of these springs and of the pools which they supply is totally undocumented.

The climatic fluctuations of the Pleistocene have left numerous traces in Tibesti. Above 1800 m, there is evidence of periglacial phenomena and it has been claimed that, since temperatures down to -10°C may occur, periglacial erosion still continues. Terrace building along the oueds (= Enneris) and pediment formations also indicate a turbulent climatic history. The Pleistocene Mega-Chad, at the time of its maximum extent, reached the foothills of Tibesti and Ennedi.

2. Morphology and hydrology

The core of the massif is a series of plateaux above 2000 m (tarso = plateau) extending from the Tarso Tousside in the west to Tarso Lougo and Tarso Mohi in the east, where an arm extends North to Tarso Emissi, continued in the Dohone mountains, and another one south to the Emi Koussi. A number of volcanic peaks (Emi, E(h)i), many in excess of 3000 m, emerge from these plateaux. Two major rivers (Enneri) further divide the Tibesti into western and eastern zones. The Enneri Yebbigue drains towards the North, and loses itself into a fossil floodplain on the Serir Tibesti, where it is called E. Tanoa. On its course lie a number of major oases and gueltas (e.g. Yebbi Bou, Yebbi Suma, Omchi), as yet totally unexplored biologically. The saddle of Tarso Mohi at c. 1800 m, forms the watershed.

The major Southern Enneri is the Miski. It is augmented from the East by a number of Enneris that drain the western slopes of the Emi Koussi, and in the West by the Enneris Korom and Aouei. It seeps into the depression of Guerede, and supplies a substantial amount of groundwater to the Borkou springs and pools (see below). The gueltas of Oudigei and Totous are on the lower course of the Enneri Aouei. The guelta of Totous lies in a short side-canyon and is well-known for its rich aquatic fauna, but it is one of the very few that has been adequately explored. Numerous other gueltas (Zoure, Ogou, Tougoum...) still await to be prospected. Above 2000 m, the beds of most Enneris contain long strings of gueltas, some connected by running streamlets, others isolated. The permanent gueltas on the Southern flanks of the Tibesti mostly seem to have fish, and some had crocodiles (until 1950, at least), but too little is known about the Northern gueltas and their biota to generalise. A large part of the water that falls on the Tibesti runs off readily and seeps into the groundwater reserves North and South of the massif.

3. Climate

The climate of Tibesti is a desert mountain climate sensu Dubief (1971). There is circumstantial evidence for important regional differences, especially in precipitation, but only few permanent weather stations (Bardai, Trou au Natron) have functioned long enough to provide reliable information. Bardai (1020 m, 21°05'N, 17°00'E) is situated on the Northern flank of Tibesti. It had an annual precipitation of only 12.0 mm.a⁻¹ for the period 1957-1968. The value of this figure is, however, relative, as seen from the tremendous inter-annual variations (1966: 60.6 mm; 1962 and 1970: 0.0 mm). Precipitation falls predominantly during early summer, with a peak in May and often in the form of rainstorms (May 1966: 59.9 mm). These are not monsoon rains, but relate to sahara-soudanian depressions (Capot-Rey 1961). For aquatic biota, the precipitation at high altitudes, collecting in the Enneris at lower altitudes, is more significant than that directly received at low altitude sites like Bardai. For example, at Trou au Natron (21°10'N, 16°06'E) at 2250 m, mean annual precipitation is 126 mm, and this figure is probably exceeded by the precipitation on the Emi Koussi. Quezel (1965) thinks that the South flank of this peak receives up to 150 mm per annum. Although there is, here again, a peak in May, secondary maxima occur in March and September (cf. Kaouar oases), the latter doubtlessly of monsoonal origin.

Heckendorff (1973) states that extremely high precipitations are rare in Tibesti. They do, however, occur. Even if at spaced intervals, they provide enough water for springs and well-shaded gueltas to last for many years. Hervouet (1958), for example, noted that at Aozou, North-east of Bardai, 370 mm of rain fell within three days in May 1934. Snow may also occur, although not yearly. Several centimeters fell on Tarsi Voon in 1961-1962.

The average irradiation at Bardai is c. 20,000 kJm⁻²d⁻¹, and increases with altitude. Combined with a low cloudiness (average of 1.5/10 per annum; highest values in April-May and December), this determines high summer temperatures (monthly average of 30.6-30.9°C in June-July, with noon values of 35°C and maxima of 42-44°C, but also diurnal amplitudes of the order of 15-30°C (night values of the order of 10-12°C). The yearly minima fall in December-January (13.3-13.8°C, with an absolute minimum of -5°C, and at Pic Tousside even -11.2°C). The yearly average temperature at Bardai is 23.5°C. Under these conditions, yearly evaporation amounts to c. 6 m, at a mean relative humidity of 25 %. Minima are recorded at noon (10-20%), maxima shortly before sunrise (40-50%). Some extreme low values have been measured at Bardai in reliable circumstances, e.g. 2% on 11 Dec 1966 and on 12 March 1967. Winds blow from the North-east predominantly. In summer, South-eastern and Southern winds, carrying humid equatorial air, increase in importance. In winter, western winds of low intensity also occur.

4. Water chemistry

None of the gueltas seem to have been analysed chemically, but it can be inferred from similar sites in other mountain areas that their ionic content is low.

5. Macrophytes

The Southern Enneris of Tibesti are characterised by a comparatively rich, tropical vegetation, with a considerable degree of endemism (Quézel 1965). A typical association in the vicinity of a guelta is composed of Agrostis stolonifera, Equisetum ramosissimum, Mentha longifolia, Juncus fontanesii and Sonchus tibestii. The last-named of species is endemic to Tibesti. Guelta Totous, situated at less than 600 m, and enclosed between steep cliffs, has little littoral development. On its narrow clayish-sandy edges, growths of Indigofera oblongifolia and Cenchrus ciliaris are found. Various Scirpus and Cyperus species line the guelta directly.

6. Algae

Behre (1950) and Gauthier-Lièvre (1950) studied collections made by Quezel, but very few algae were found in a single sample from Totous valley.

7. Invertebrates

There is no adequate inventory for aquatic insects and mollusca. Only Melanoides tuberculata has been cited from Tibesti, but the malacological fauna of the mountains is certainly richer. Monod (1947, 1950) found Limnocypris tanganyicae in guelta Totous. The pelagial

zooplankton of the permanent gueltas is almost certainly poor in species and individuals, because of the vertebrates that abound there. The temporary pools downstream of the main guelta have not been studied.

8. Vertebrates

Guelta Totous is famous for its fish fauna which amounts to seven species, the largest number known from any Saharian locality. The following cyprinids occur: Labeo niloticus, Labeo tibestii (possibly a synonym of Labeo annectens), Barbus batesi, B. deserti or macrops, B. anema; the Silurid Clarias gariepinus, and the Cichlid Coptodon zillii. Only three more species are known elsewhere in Tibesti (Barbus apleurogramma, Sarotherodon galilaeus borkuanus, Barilius senegalensis).

9. Human activity

Occasional pastoralism by Tibu tribesmen is the only use that is made of Totous gorge.

2.7.b. MARE DE ZOUI NEAR BARDAI

1. Geography

Zoui (21°20'N, 17°05'E) refers to the valley of the Enneri Bardague, called Enneri Zoumeri in its upper reaches. It is the major river West of the Enneri Yebbigue and is cited here as an example of a guelta on the Northern flank of Tibesti. Its climate is as for Bardai.

2. Macrophytes

Huge Typha meadows partly overgrow the guelta (Tercafs 1962), but no data on submerged water plants are available.

3. Algae: No records.

4. Invertebrates

No systematic survey has been performed. Orthetrum ransonneti and Trithemis kirbyi ardens are two dragonfly species that live at this site. The Anostracan Streptocephalus rubricaudatus, a Southern vicariant of S. torvicornis occurs en masse. Associated with it are the Ostracod Heterocypris incongruens, and the cyclopoid copepod Mesocyclops rarus (Van de Velde, 1984).

5. Vertebrates: No fish are present. No amphibia have been recorded.

6. Human activity

although there is a nearby oasis, there is no specific use of the guelta, other than occasional watering of cattle.

2.7.c. ENNEDI: GUELTAS OF ARCHEI AND BESKERE

1. Geology and morphology

The Ennedi plateau, a 50,000 km² sandstone triangle, is situated at the limits of Sahara-Sahel, a little further South than the Air. Its long axis lies E-W and because it is strongly dissected and has a mean altitude of about 1100 m, the Ennedi is often considered a mountain range rather than a plateau. There is a N-S divide at 1100-1300 m. The highest peak, 70 km East of Fada, the main settlement of the area, is estimated at 1450 m (high plateau of Basso). Most of the plateau is naked and desertic, but contrasts sharply with numerous, deep gorges, which are lined with gallery-forest fringed by Acacia-trees. Towards the North, this landscape is bounded by the sandy Mourdi depression which overlies carboniferous limestone and sandstone. It is marshy in places. To the West, the Mourdi depression is continued by the Djourab. In the South (the Mortscha), the crystalline Precambrian basement surfaces. The body of the Ennedi itself is Upper Devonian sandstone to the South of which a steep escarpment runs from the NW to the SE, separating it from lower Devonian sandstone. Even further South and already outside the Ennedi proper, strips of Gothlandian and Ordovician age appear. These, finally, link up with the Precambrian granites.

2. Climate

Like the Air, there is a strong difference in rainfall between North and South, and also between East and West of this massif. Koro-Toro in the Erg Djourab, SW of the Ennedi has 50 mm, but Fada has 80-90 mm.a⁻¹, while further North, the Mourdi depression has barely 30 mm. Even less rain falls East of the Ennedi, in the Nile-desert. Altitudinal differences are also strong, and at the level of the N-S divide, it has been claimed that 250 mm.a⁻¹ fall. Schiffers (1973) considers this figure an exaggeration. Rainfall is concentrated between June and August, often in tremendous thunderstorms, and erosion on the plateau and in the torrentially flowing oueds is strong. Large year-to-year variations are the rule, and the 1970s were notorious for disastrous droughts. Relative humidity is of the order of 20%, but reaches 70% during the monsoon, when morning dew is not uncommon. Because of this, the summer months are relatively cool, and May is the hottest month of the year (with temperatures of 45-50°C). In December, the coldest month, frost is not unusual (down to -4°C), and dust-haze occurs. Irradiation is of the order of 20,000 kJ.m⁻²d⁻¹, and evaporation is 5-6 m.a⁻¹.

3. Hydrology

Of the three superimposed layers of sandstone that comprise most of the Ennedi, the upper one is particularly brittle and subject to erosion. It has been deeply eroded by numerous oueds, with gorges and cliffs up to 100 m deep. Yet, most of this intricate network is of Pleistocene age. The Oued Basso is an example of an extremely narrow, 15 m deep canyon, with a bottom covered by pools and kettle-holes. Around 17°N, the fragmentation of the massif is particularly strong. Two major relict water systems are found here: Archei (16°54'N, 21°46' E), 50 km SE of Fada is a funnel-shaped gorge, 1.5 km deep, and North-oriented from the Southwestern escarpment. Its aquatic environment is composed

of six major gueltas, surrounded by stretches of swamp. There are permanent springs at the head of the gorge. 110 km SE of Fada, Beskere (16°30'N, 22°15'E) is a gorge 2 km long penetrating E-W into the escarpment. At its sandy mouth is a dum-palm forest; at its head, 30 springs feed one of the largest gueltas of the Ennedi. These outflow via a permanent channel and form a long series of pools and marshes. The water of the springs is believed to be derived from infiltrated summer rains. Discharges have been measured by Gillet (1957) as 600-700 m³d⁻¹ at Archei, and 1000 m³d⁻¹ at Beskere.

4. Macrophytes

The floors of the Archei and Beskere gorges are covered by thick gallery forest, typical of areas with a yearly precipitation of 600 mm.a⁻¹. It is a relict of the Pleistocene wooded savannah that existed here during previous pluvial periods. Gillet (1956, 1957, 1958) cites Ficus papulifolia and Boscia angustifolia as examples, but Ficus ingens (also known from the Southern Air), Vitex cunerata, and Adina microcephala also fall into this category. The gueltas themselves are surrounded by stands of Phragmites australis, Typha australis, T. angustifolia, associated with cyperaceae and other hygrophytes. There is no inventory of submerged waterplants.

5. Algae

Round (1961) and Compère (1970) examined algal collections from the Ennedi. Collections from Archei contained 95 taxa out of a total of 324. Biogeographically, the Ennedi stood halfway between the Saharian flora and the flora of Lake Chad.

6. Invertebrates

The catalogue of aquatic insects is incomplete. Dragonflies have been studied by Buchholz (1959), and Hemiptera by Dispos (1975). Both authors find a strong predominance of Afrotropical elements, with a Saharian supplement, and among the dragonflies even one Irano-Turanian relict (Orthetrum ransonneti, cited sub. O. kollmannspergeri). Cladocera and Copepoda were casually collected by Monod and studied by Dussart (1968, 1970), while Monod (1968, 1969) treated the Phyllopoda and Decapoda. Caridina africana is the most outstanding find here. Ostracods were studied by Rome (1969). Limnocyprina tanganyicae was reported by De Miré et al. (1960).

7. Vertebrates

A fragmentary record is available. Four species of fish are recorded: Barbus macrops (or deserti?), Labeo tibestii (or annectens?), Sarotherodon galilaeus borkuanus and Coptodon zillii. This is certainly only a fraction of the true diversity. Many more Silurids, Cyprinodontids, and Cichlids are likely to have survived here. Xenopus mulleri, the African clawed toad is common in the gueltas, but the most spectacular vertebrate of Archei and Beskere is undoubtedly the Nile Crocodile, which is still present in sizeable populations. Kollmannsperger (1959) draws attention to the importance of the gueltas for migrating birds, but this is also true for other Saharian gueltas.

The gorges are also a biotope for various mammals who, unlike typical Sahara antelopes (Oryx algazel and Addax nasomaculatus) that never have to drink, need reliable surface water. These not only include groups of baboons (which also occur in the Air, Tibesti and Tagant), but large carnivores such as cheetah, leopard, hyaena and lion.

8. Human activity and management

Although there is evidence for a continuous human presence in and around the gorges since at least 6,000 BP (numerous rock paintings and engravings, representing different styles and ages are found on the cliffs and in shallow caves), there are no permanent settlements here today. Occasional pastoral use is thus the main human activity in the area, and no particular management exists.

2.7.d. THE WATERS OF BORKOU

1. Geography and geology

Borkou is a series of plateaux of decreasing altitude, forming a cascade from N-S between the foot of the eastern Tibesti (Emi Koussi) at c. 600 m asl, and the most Southerly latitude of the Angamma escarpment (250 m). It covers an area of c. 30,000 km², and is largely composed of Devonian sandstone. At the latitude of Faya (17°50'N, 19°05'E), the main locality of the area, Tertiary sandstone emerges, and around Faya itself, major deposits of Pleistocene age (sands, clays and diatomites) are found.

2. Climate

Borkou is particularly noted for its strong, dessicating winds which almost invariably blow from the NE. Only during the monsoon is there a limited contribution from the South and SW and there is least wind at this period. Mean annual precipitation is 22.9 mm, more than half of which (13 mm) falls in August alone. There are an average of 3.9 rainy days per annum, and strong differences between years. Totally rainless years are not exceptional, while the record precipitation is 203.4 mm. Depressions of Northern origin may reach the area, but contribute little in terms of real precipitation. Relative humidity is around 20% except during the monsoon, when it increases to 40-50% and damps the diurnal temperature extremes: lower maxima during the day, higher temperatures during the nights. As a consequence, the maximum annual temperatures fall in June (34°C) and decline to 32.7°C in July-August. Minima in December-January are high (21°C), and the freezing point is never reached (absolute monthly minima in January 13.8°C; lowest temperature ever recorded 2.6°C). The highest absolute value recorded is 49.5°C (May). In consequence, the mean annual amplitude (13.7) is modest for a desert environment (compared to e.g. 23.5°C for In Salah). Irradiation and evaporation are as at Ounianga and the Ennedi.

3. Hydrology

Local precipitation is inadequate to provide a supply of water to the numerous pools and springs of Borkou. Capot-Rey (1961) therefore hypothesizes an influx of groundwater derived from the Tibesti, possibly augmented by groundwater from the Erdi plateau. This idea is supported by the fact that most springs in Borkou have fresh water. The saline waters of the Bodele depression in contrast, are derived from Lake Chad. Further, several springs are weakly thermal, an indication of residual volcanic activity. Capot-Rey thinks that some of the Borkou water is therefore juvenile.

Permanent pools and springs are found over a comparatively large area, extending between the Orori, the foot of the Emi Koussi, Tigui, Yarda, Bedo, Yen En Galakka, Faya and other localities. The springs fluctuate in discharge but there is no evidence for a decreasing trend in their number. In fact, oral traditions at Tigui confirm that not one of the local sources has disappeared over the last three generations. At Kirdimi, a new spring even appeared during the present century. All the spring-fed pools are rather shallow and have marshy edges. Salinity in the open basins tends to be high, and salt deposits form along their shores.

4. Water chemistry

Capot-Rey cites unpublished analyses of 14 wells and springs. Four examples, two from the West and two from the East of Borkou depression, are given. Results are expressed as mg l⁻¹.

	SO ₄	Cl	Alk. (CaCO ₃)	Ca	Mg	Na + K
E: Son	48.9	31	205	33.2	5	58.9
E: Mardingai	12.2	15.9	207.5	27.6	4.4	54.5
W: N'Galakka (Chein Marra)	8.1	15.9	85.0	7.0	1.5	7.3
W: Yen	17.7	11.5	50	4	0.6	24.9

There is a trend for the eastern waters to be more mineralised than the western ones, but all are distinctly oligohaline at their origin and therefore, cannot have Chadian origin.

5. Macrophytes

The dum palm is native and abundant in Borkou and is usually found together with Tamarix brachystylis and T. articulata. Where agriculture is performed, date palms have also been planted. In wet areas, grasses (Eragrostis bipinnata, Imperata cylindrica) appear, and in inundated depressions, large meadows of Typha elephantina and T. australis are seen. Endemism is common among the local hydrophytes: Kosteletzkia borkuana, Lotus borkuanus are examples. Numerous species are shared only with Tibesti: Helosciadium muratianum, Heleocharis tibestica, Epilobium mirei. Where water fluctuation leaves a dry, saline crust during summer, Juncus maritimus, Scirpus laevigatus and Phragmites communis invade the area.

6. Algae

Short lists of species are provided by Gauthier-Lièvre (1950) and Behre (1950) from pools at Kaorchi and Tigui. The pools at Tigui were rich in species, and desmids were particularly well represented. Tropical elements were dominant and most species were typical of freshwater. A single sample from Faya (Largeau) examined by Compère (1967) contained only few species.

7. Invertebrates

Gauthier (1939) reports on the plankton from a pool at En Galakka. Cladocera were dominant (Macrothrix spinosa, Chydorus eurynotus, Alona pulchella), cyclopoid copepods were present but not identified, and the Ostracoda were represented by Cypretta seurati. This list has not been updated since and is clearly incomplete.

Among recent mollusca, Biomphalaria pfeifferi and Bulinus truncatus transmit two forms of human bilharzia, while malaria is also endemic to the area. Gauthier (1939) found numerous water beetles, chironomid larvae and oligochaetes in a plankton sample from En Galakka.

8. Vertebrates

In the Quarternary lake deposits at the foot of the numerous escarpments of Borkou, there are remains of a rich Pleistocene aquatic fauna. Among these is the large predatory fish, Lates niloticus (Daget 1959). There are, however, also recent fish species in some of the waters of Borkou. The cyprinodont Epiplatys senegalensis was reported from a pool at Tigui (Daget 1959). Certainly more fish species await discovery and also Amphibia and reptiles.

9. Human activity and management

The area is inhabited by the Daza, a Southern group of Tibu people. The human population density in the Borkou depression is comparatively high, and many oases are intensely exploited. Natural springs as well as man-made wells are used for irrigating gardens and producing various crops. Date palms have long been introduced to the area, and prosper well.

2.7.e. OUNIANGA

1. Geography and geology

Between the Tibesti in the West, and the plateau islands of Erdi in the east, the Northern edge of the Chad basin is formed of a series of E-W oriented escarpments. They are composed of Nubian sandstone, and contain a number of saline lakes, including the largest ones known from the Sahara. The length of the main escarpment is over 200 km, and the main locality of the area, Ounianga Kebir (c. 19°N, 20°5'E) (the "large Ounianga") (402 m.a.s.l., 235 km NE of Faya) is situated almost exactly in its middle. Four major lakes are found here. Lake Jua (370 ha, max. depth 25 m, alt. 345 m, i.e. 100 m above Lake Chad) is by far the

largest one. West of it lie Lakes Uma, Mioji and Forodom. 50 km to the E a second group of lakes occupies Ounianga Serir (c. 18°7'N, 21°E) (the "small Ounianga"). These ten small, parallel-sided lakes (Melekoui, Dierke, Ardiou, Teli, Abrome, Hogou, Diara, Tarem, Tibichei and Bokou) are dominated by Lake Teli (70 ha, max depth 10 m, 360 m asl). Most are small and overgrown by Typha. They are all elongated, with their long axis NE-oriented, in the direction of the prevailing winds.

2. Climate

As in Borkou it is hyperarid and strongly dessicating. The world's record of evaporation (7.8 m) occurs at Ounianga Kebir (Capot-Rey, 1961). Under these conditions, the water of the lakes is evidently hypersaline.

3. Hydrology

The lakes are fed by groundwater that originates in the Eastern Tibesti (Capot-Rey, 1961) and this explains why the local springs are fresh and mildly thermal (30-32°C at Lake Jua). The water of Lake Jua fluctuates with an annual amplitude of c. 1 m. The minimum is reached in August-September, the level starts rising in October, and climbs to a maximum in March-April. There is thus a time lag of c. 1 month between the moment the level starts rising, and the end of the summer rains in Tibesti. Long-term fluctuations have also been noted, and Lake Jua seems to have declined by 60 cm in half a century. During the Pleistocene pluvials, and as recently as 8000 B.P., its level was up to 25 m above the present.

4. Water chemistry

An old analysis on Lake Jua gave the following results:
 NaCl 16 g.l⁻¹; Na₂CO₃ 23.3 g.l⁻¹; NaHCO₃ 3.7 g.l⁻¹;
 Na₂SO₄ 22.3 g.l⁻¹

pH values in the lakes are very high, up to 11.

5. Macrophytes

There are more than 25,000 date palms in the oasis of Ounianga Kebir. The lakes themselves are surrounded by Phragmites australis, mixed with Cyperus laevigatus and Typha australis. Some of the smaller lakes are almost totally overgrown by this association. In the freshwater springs, Lemna spp and floating cyperaceae occur.

6. Algae

Compère (1967) studied algae from different lakes in Ounianga Kebir. In the open water, the colonial cyanobacterium Spirulina geitleri was dominant, often forming thick algal scums. Few species of cyanobacteria and diatoms co-occurred with it in the open water, but in the littoral the community was somewhat more diverse.

In the other lakes, the dominance of Spirulina geitleri was less absolute, and in some a bottom cover of Chara canescens and Ruppia maritima could develop.

7. Invertebrates

Except for mosquito larvae and Ephydrid flies, no invertebrates have been cited from the lakes themselves. The freshwater springs are probably richer, but totally undocumented.

8. Vertebrates

According to Schiffers (1950), frogs and toads live in the freshwater littoral of Lake Jua. There is, however, no information on their identity. Two fish species have been collected: Haplochromis bimaculatus, and Sarotherodon galiaeus borkuanus. Ounianga Kebir is the type locality for the latter.

9. Human activity and management

Besides the traditional oasis cultures, cattle are allowed to graze in the Typha-meadows and natron is exploited at Lake Jua.

2.8. THE EASTERN SAHARA

2.8.a. THE SIWA-DJARABUB (DJAGHBUB) DEPRESSION

1. Geology

The western desert (the part of the Sahara between the Nile and the Egyptian-Libyan border) is a huge plateau (mean elevation 500 m a.s.l.) composed of Nubian sandstone in the South and limestone of Eocene and Miocene age in the North. Scattered over this enormous Hamada occur a number of depressions, in which large oases are found. They are situated at the junctions of deposits of different age, uplifted against each other during the Miocene, to form *cuestas*. The mostly northerly of these is the Djarabub (Libya) - Siwa (Egypt) *cuesta* with further East the large and deep depression of Qattara. Siwa village is 14 m below sea level, and Qattara even lower at -140 m. They mark the junction of Miocene and Eocene limestone. The Miocene rocks (sloping from 200 m asl at Siwa to 50 m at the Mediterranean coast) consist of an upper layer of solid Marmarican caprock, overlying the much softer Mughra clastics. The origin of this depression (and of the others in the western desert) is fairly complex and still debated in its details. Small depressions were first formed along the *cuesta* by exudation (chemical dissolution of the caprock by saline water) and eventually joined to form larger and deeper ones. When the free-running layers of clastics were reached, Eolian erosion excavated them rapidly down to the water table, at least in Siwa, where permanent lakes were thus created. The Southern depressions of Kharga, Dakhla, Farafra and Bahariya have limited or no surface water and will not be considered here.

2. Geography and hydrology

The bordering Miocene limestone in the North reaches an elevation of 200 m. It forms a high and generally steep escarpment. The Eocene limestone plateau in the South is at 500 m, but is gently sloping. Escarpments, where present, are generally buried under a sea of sand. The deepest point of Siwa is at -17 m, and the depression is 82 km in length. It has an irregular, elongated shape (25°16'–26°06'E) with a maximum width of 28 km, but in places as narrow as 1.5 km. Its total area is 1088 km². On the floor of the depression, a group of minor depressions are occupied by a total of 10–15 lakes. These are the remnants of fewer and larger Pleistocene lakes. Fossil shorelines can be seen at altitudes of -8 to -12 m.

The lake levels fluctuate considerably and some dry up in summer. The most important lakes are:

1. Lake Al-Maraqi : surface area 9 km², surface level -17 m
2. Lake Khamsa : surface area 4 km². This lake fell dry in 1947, because its water was drained to lake Siwa.
3. Lake Siwa : the largest of all (area 32 km²), irregularly shaped and with several islands.
4. Lake Al-Zaytun : surface area 16 km².

They are saline, but supplied with water from numerous freshwater springs and marshes, which throw up fossil groundwater of Southern origin. Chemical analyses are to be found in Smith (1947).

3. Climate

The climate of Siwa is hyperarid, but not all aspects of it are well documented. Mean annual temperature is 20.5°C. January is the coldest month (mean 10.6°C), and July–August the hottest (mean 29.5°C). Absolute maxima and minima are much more extreme, however, and on the limestone plateau around Siwa winter frosts are fairly common. Mean annual precipitation is only 8 mm. The highest probability for rainfall is during winter, but there are many consecutive rainless years. Potential evaporation is 2.3 m.a⁻¹. Local precipitation is therefore negligible compared to evaporation. Relative atmospheric humidity at noon is 15–30%, increasing to 50% at night. Between February and May, hot sand winds (Khamsin) may blow, which reduce humidity to as low as 1%.

4. Algae

Nayal (1935) cites few species specifically from Siwa. Omer-Cooper (1947) reports on algal scums in several salt pools, filamentous green algae in spring outflows, and Chara in waters of various salinity. A much better algological inventory is available for Giarabub (Forti, 1927, 1928, 1933).

5. Invertebrates

One of the peculiarities of Siwa is the occurrence of live Foraminifera (Omer-Cooper 1947), a phenomenon paralleled only by the Oued Mya in Algeria. A plankton sample collected in winter 1982 by B. Pejler (pers. comm.) contained large numbers of the rotifer Hexarthra fennica. Two species of Cladocera (Daphnia magna and Simocephalus vetulus) were

recorded from freshwater pools, while Artemia "salina" was restricted to the large saline lakes, and 6 species of Ostracods occurred at various salinities (Harding 1955). Pontopartia salina is believed to be endemic to Siwa. It belongs to a genus otherwise known only from the Bismarck Archipelago but its generic attribution has been challenged by McKenzie (1970s).

Other species of interest are Cypretta murati, known from Chad and Senegal, and Cypridopsis viduella from South Africa and Kenya. Heterocypris salina, Cyprideis littoralis (= torosa) and Eucypris inflata are inhabitants of saline waters. The copepods (Kiefer 1949) were composed of 4 Cyclopoids and 3 Harpacticoids and occurred in oligo- and mesohaline waters only. Apocyclops dengizicus, a mesohaline species also known from Bilma (q.v.), and Afrocyclops gibsoni are the most striking Cyclopoid species. Onychocamptus mohamed and Cletocamptus confluens are widespread in the North African sebkhas, but Nitocra fallaciosa is known only from the Black Sea coast. The Amphipod Gammarus aequicauda is a circum-Mediterranean form (Schaeffer 1947). The presence of Balanus amphitrite in Birket el Gessabaia, a saline lake, gave rise to speculations about a former connection between Siwa and the Mediterranean Sea (Nilssen-Cantell 1947). There is, however, no geological support for this hypothesis. Introduction by waterbirds is much more likely, especially as the population suffers from heavy mortalities when salinity rises significantly above that of the sea. Among insects, the water beetle Eretes sticticus should be cited, while Crawford (1949) records the gastropods Melanoides tuberculata, Hydrobia musaensis and Pila ovata from the oasis waters.

6. Vertebrates

The euryhaline fish Coptodon zillii and Aphanius dispar occur in the Siwa depression. The former was introduced, and probably destroyed much of the original biocenoses (Omer-Cooper 1947). The latter has strongly melanistic populations in some of the oasis waters. As early as 1885, Rohlf had been struck by an abundance of waterbirds, such as various duck species and ibis.

7. Human activity and management

In contrast to Qattara, Djarabub and Siwa are inhabited, and oasis agriculture is performed with the help of irrigation from natural springs and man-made wells.

2.8.b. JEBEL MARRA: THE DARIBA LAKES

1. Geology

Jebel Marra, situated in the Darfur province of western Sudan, extends SE of the Ennedi and is part of the Nile-Chad divide. Its highest area, a rugged mountain range (12-14°N, 24-25°E) is fully part of the Sahel, and governed by a monsoon climate. Geologically, it pertains to the Precambrian basement, but Tertiary volcanic outbursts were responsible for its rejuvenation. The highest peak reaches 3070 m and isolated volcanoes extend North of the mountain range proper (Djebel Berti and Djebel Meidob). The Malha crater of Dj. Meidob contains a little-known

salt lake. Residual volcanic activity has continued throughout the Pleistocene and until the present day. Hammerton (1966) reports on fumaroles and hot springs and Burton & Wickens (1966) think that these may have formed during the 1960s only.

2. Climate

The isohyets at the latitude of Jebel Marra are closely apposed, and a relatively insignificant N-S translation produces a large difference in yearly precipitation. El Fasher (730 m) on the eastern flank of Jebel Marra has a yearly rainfall of 294 mm, with a sharp peak in July-August (138 mm in July; 112 mm in August), but there is virtually no precipitation between October and April. Of even greater importance is the altitudinal effect, which leads to a total rainfall figure of 800 mm.a⁻¹ above 2000 m, and even 900-1000 mm.a⁻¹ on the high western slopes of the massif. Mean annual temperature at El Fasher is 24.4°C. The minimum occurs in January (19.6°C) and the maximum, in May is c. 29.0°C. The monsoon rains damp the summer temperatures and produce a bimodal temperature curve with a lesser secondary maximum (c. 27°C) in October. At higher altitudes the temperature extremes are wider apart, and winter frosts and hail storms are fairly frequent above 2000 m. The Jebel Marra massif acts as a screen against Northerly winds (Wickens 1976). Potential evaporation is 1.7 m.a⁻¹.

3. Geography and morphology of the lakes

Hammerton (1968) mapped the two lakes that occur in the floor (2200 m a.s.l., 5 km diameter) of the caldera of Jebel Marra volcano, the highest peak of which reaches 3024 m. In the NE corner of the floor lies a large but shallow (11.5 m maximum depth) lake (maximum length 2.5 km) while in the SW there is a secondary volcanic cone that contains a smaller (maximum diameter about 1 km) but much deeper (maximum depth 108 m) lake. In addition to direct precipitation, these lakes are fed by both cold and hot springs with temperatures ranging from 65-85°C. Hot springs are particularly abundant West of the shallow lake. Fumaroles are also present, and Hammerton thus concludes that the volcano is dormant, not extinct. Green et al. (1979) measured temperature profiles in the two lakes. Clinograde temperature curves develop in both lakes under calm conditions, but are easily destroyed by winds.

4. Water chemistry

In the shallow lake dissolved oxygen may develop strongly clinograde profiles, with huge supersaturations in the top 50 cm or so (where the algal blooms of *Spirulina* concentrate), and drop to near zero values at 4 m depth. Anoxic conditions were measured at 6 m and deeper by Green et al. (1979). However, winds quickly mix the water column and redistribute the oxygen. 50% saturation over the entire water column was measured after a windy night. In the deep lake, Hammerton (1970) measured a deoxygenated hypolimnion in 1970, while Green et al. (1979) found a weakly clinograde oxygen curve after a windy period, with only 12% saturation at the surface, and 5% at 30 m.

The chemistry of the two lakes is rather different. The large lake is strongly saline, while the small lake is only mesochaline. Both lakes have high alkalinity and pH values between 9.4 and 9.8.

	total alkalinity meq.l ⁻¹	Na mg.l ⁻¹	K mg.l ⁻¹	Cl mg.l ⁻¹	cond. 10 ⁻⁶ S. cm ⁻¹
small lake	47.5	1,600	95	778	6,000
large lake	147.0	6,200	585	2,580	27,000

5. Macrophytes

Cyperus laevigatus grows profusely around the edges of the large lake (Fott & Karim 1973).

6. Algae

Fott & Karim (1973) found very high densities (responsible for the narrow fringe of intense primary production on top of the water column, but with a strong self-shading effect at lower levels) of Spirulina geitleri in the shallow lake. Trace amounts of another cyanobacterium, Anabaenopsis arnoldii were found by Green et al. (1979). In the deep lake, pelagic algae were almost non-existent except for some small species of Nitzschia and Melosira (Green et al. 1979). It is, however, possible that the nannoplankton is better developed.

7. Invertebrates

Green et al. (1979) found three saline rotifer species in the large lake: Brachionus plicatilis, B. dimidiatus and Hexarthra jenkiniae. In the small lake, the same species were present in different proportions and Lecane bulla was also found. Crustacea were present in the small lake only and represented by one cyclopoid copepod Afrocylops gibsoni. The large lake harboured enormous numbers of the fly Ephydra sp., and the small lake yielded three dragonfly species (Ischnura senegalensis, Hemianax ephippiger, and an Aeschnid larva), the Hemipteran Sphaerodema urinator, the Trichopteran Hydroptila sp., and unidentified chironomid and tabanid larvae (Green et al. 1979). Coleoptera were represented by Hydrophilus senegalensis, Laccobius praecipuus and Potamonectes lynesi the latter apparently endemic to Jebel Marra.

8. Vertebrates

No fish are present. No Amphibia have been reported. Green et al. (1979) cite five species of waterbirds: little grebe, sacred ibis, stilt, greenshank and ducks.

9. Human activity: Occasional pastoralism.

2.8.c. JEBEL MARRA: THE WADIS

1. Geography

Although the fairly high amount of rain received by Djebel Marra falls in concentrated form, as many as 60 rivers are permanent or have permanent stretches, especially in deep, well protected gorges, where large relict pools may persist indefinitely. Well-known are the Wadi Gallol, W. Korunga, W. Luka, W. Sunni, W. Fik, and W. Mliru. The water of these rivers is presumably fresh, but no analyses are available. Karim (1975) found them to have slightly alkaline pH-values.

2. Macrophytes

In deep gorges, true gallery forests develop. Wickens (1976) discusses three of them in detail, including the Wadi Gallol gorge. The main constituent of the forest, an enclave of equatorial vegetation among dry savannah, is Trema orientalis. Deep, slow-flowing or stagnant pools are bordered by a luxuriant group of trees and shrubs and in the water, similar richness of aquatic plants is also encountered. Citing from Wickens' list: Nymphaea caerulea, N. lotus, N. maculata, Ceratophyllum demersum, Mentha longifolia, Potamogeton nodosus, P. pusillus, P. schweinfurthii, Najas graminea, Lemna minor, L. perpusilla, Pistia stratiotes, Typha domingensis, Juncus spp. (3), Cyperus spp. (12), Eleocharis tibetica. In addition, 33 species of ferns and numerous orchids were found in humid places, where two hepatics also thrive: Grimaldia dichotoma is a species with Mediterranean and Oriental affinities, while Marchantia polymorpha is cosmopolitan.

3. Algae

Karim (1968, 1975) and Starmach (1975) studied algae in Wadi Gallol and other sites on the flanks of Jebel Marra. Diatoms were dominant in the free-floating plankton, but in the littoral and periphyton, filamentous green algae, cyanobacterial colonies, desmids, and flagellates were also abundant. Wickens (1976) found Chara vulgaris to be fairly widespread.

4. Invertebrates

Several groups have been treated, but few comprehensively. Chardez (1974) provided a list of Thecamoebids, a group otherwise almost undocumented from the Sahara-Sahel. Bdelloids and 8 other species of Rotifers are listed by De Ridder (1984), and 7 species of Cladocera were found by Dumont et al. (1984). They include Chydorus sphaericus, Alonella hamata, and Pleuroxus aduncus. The only daphniid recorded was Ceriodaphnia reticulata. Mollusca are imperfectly known (Brown 1980, Van Damme 1984). Bulinus forskalii and B. umbilicatus transmit bilharzia. Lymnaea trunculata, Gyraulus costulatus, Melanoides tuberculata are local.

Happold (1966) studied the dragonflies, and found an almost purely Afrotropical community here, with Pseudagrion hamoni, P. kersteni, Aeshna rileyi as characteristic species. Other aquatic insects are less well known.

5. Vertebrates

Bailey-Watts & Rogers (1970), in a preliminary inventory, list 16 species of fish, including Epiplatys senegalensis, known also from Borkou area. Nile crocodile occurs in pools on the middle Wadi Azum (Wilson 1978) and near El Geneinah.

6. Human activity and management

Jebel Marra has been inhabited since antiquity. Agriculture is practiced by the local Fur tribe who grow, among other crops, wheat. The date of its introduction is unknown, but Lake Chad is a likely source area. The slopes of the mountains are terraced, and used to be cultivated as high as 2750 m, although today cultivation has receded to below 2600 m. There is an interesting seasonal migration of the people between their winter quarters at lower altitude where they produce irrigated crops, and the terraces on the hill slopes, where they grow rain-fed crops during summer (Wickens 1976). In addition to agricultural practices, cattle raising is locally important. All these activities have greatly influenced the natural landscape since prehistoric times. Yet, the greatest alterations, including the extinction of large game, have occurred since the end of the 19th century. The sites with the greatest faunal and floral originality are almost certainly the deep river gorges, often situated between two waterfalls, and hence inaccessible to man.

2.9. THE SOUTHERN RED SEA HILLS

2.9.a. ERKOWIT AREA

1. Geology and morphology of the Red Sea Hills

The hills, flanking the Red Sea on its western side, extend between Suez (Mount Ataca) and the Ethiopian plateau. This longitudinal mountain chain is locally interrupted by faults, and between the chains of peaks thus formed, torrential wadis flow to the sea or to the Nile. They are essentially composed of igneous and metamorphic rock of the Precambrian basement complex. Alluvial infilling has produced a coastal flat of variable width (9-25 km in the Sudan) towards the Red Sea. The mountains themselves have peaks of more than 2000 m (Jebel Erba in the Egyptian-Sudanese border zone is 2220 m high).

2. Climate

The precipitation is a function of latitude. In the Egyptian sector, the area North and South of Quseir is hyperarid and receives less than 5 mm.a⁻¹. This amount increases sharply as one approaches Jebel Erba (Elba), and the mountains to the South. The 100 mm isohyet passes just South of Port Sudan and at Gebeit close to Erkowit, 135 mm.a⁻¹ are reached. Rains on the eastern slopes of the hills are predominantly winter rains, with a November maximum at Port Sudan. However, at Gebeit, only slightly further South, the influence of the monsoon is also clearly felt, and a peak in precipitation is recorded in August (c. 70 mm). Cloudiness on the mountains is important throughout the

year, but peaks in winter. Erkowit (1300 m) is particularly famous for its high incidence of mist that comes in from the sea, and has therefore been called a mist-oasis (Kassas 1956). This is a continuation of the mist zone of the Eritraean coast, where it results in a permanent green belt. The yearly temperature curve is damped, but the mean annual temperature is 25°C at Erkowit with mean minima in December-January (21°C) and a mean maximum of 30°C in summer. Potential evaporation is fairly low for an arid environment: 2-3 m.a⁻¹.

3. Hydrology

Close to Erkowit, a number of wadis (locally called Ghor or Khor) have excavated deep gorges, and conserve strings of pools throughout the year. During the wet season (late summer-winter), they are regularly flushed by floods but they reform in January and persist until July. Two of these rivers are Khor Ashat and Khor Amat. The former has cut a deep, funnel-shaped canyon, in which numerous gueltas are connected to each other by a trickle of running water throughout the year. The Khor Amat valley is faulted a few kilometers North of Erkowit. The resulting waterfall feeds a number of deep plunge-pools.

4. Water chemistry

A partial analysis by L.A. Desougi (Khartoum) on samples collected in December 1981 gave the following results:

	total alkalinity meq.l ⁻¹	K mg.l ⁻¹	Na mg.l ⁻¹	Ca mg.l ⁻¹	Mg mg.l ⁻¹
K. Amat	3.2	13.8	810	19.12	38.1
K. Ashat	2.2	20.4	260	76.10	92.5

Sodium is comparatively high (probably matched by Cl), and Mg is also above average, but the overall composition is suggestive of an oligohaline water.

5. Macrophytes

No true aquatic macrophytes were seen. However, the vegetation of the area is worthy of comment. Indeed the moisture advected by the frequent mists allows a particular flora to develop, in which terrestrial algae, mosses and ferns (Asplenium, Cheilanthes, Adiantum) develop on a fairly humid soil, produced almost exclusively by Scirpus steudneri. Orchids, mushrooms and Abyssinian tree species such as Aloe abyssinica, Euphorbia abyssinica, the dragontree Dracaena ombet and the wild olive tree, Olea chrysophylla, are widespread in the area.

6. Algae

Characeae, filamentous green algae and cyanobacterial colonies abound in all the pools. Compère (1984) lists the genera Spirogyra, Oedogonium, Cladophora, Ulothrix, Oscillatoria, Lyngbya, Cylindrospermum, Anabaena, Mougeotia, besides Euglenaceae, green microalgae, Peridinaceae, Desmids, and Diatoms. Nitzschia palea, N. obtusa, Navicula pupula, N.

subrhynchocephala, Amphora coffeaeformis, Rhopalodia gibberula, and Fragilaria ulna were the most common species among the latter. The algal flora had more affinities with the Middle East than with the Sahara.

7. Invertebrates

Numerous Hemiptera, Coleoptera, Trichoptera and Ephemeroptera occur but have not yet been studied. Dragonflies are few; Trithemis arteriosa, Orthetrum chrysostigma, Hemianax ephippiger, and Paragomphus genei have been collected (Dumont & Martens 1984). Four species of Cladocera (Alona alonopsiformis, A. pulchella, A. rectangula and Ceriodaphnia quadrangula) were found (Dumont et al. 1984), while Ostracods are represented by 6 species (Martens 1984): Candonopsis cf africana, Heterocypris fretensis, H. giesbrechtii, Cypretta seurati, Paracyprretta amati (newly described from Khor Amat in 1984), Stenocypris major, and Plesiocypridopsis newtoni. De Ridder (1984) lists 20 species of Rotifers. The presence of Brachionus plicatilis illustrates the fact that at times the water may become rather saline. Few aquatic molluscs are known. Brown (1980) cites only Lymnaea natalensis.

8. Vertebrates

No fish have been recorded, although Clarias gariepinus occurs in Khor Baraka, South of Erkowit. A burrowing anuran (unidentified) is common in both Khors, and is active mainly at night.

9. Human activity and management

While the oasis of Erkowit is inhabited, and even has a well-known tourist resort, the Khors themselves are of little interest to the local people. The pools of Khor Ashat are visited by semi-nomads for watering their goat and camel herds. Problems of diarrhoea were noted among the numerous camels roaming through the valley. A high level of certain heavy metals in the water of the pools might be the cause of this.

2.9.b. KHOR ARBAAT

1. Geography and hydrology

Khor Arbaat is a permanent desert river that drains part of the Southern Red Sea Hills towards the sea. It debouches into a triangular alluvial fan, which extends at the mouth of the so-called Arbaat gorge, slightly North of Port Sudan. The upper valley is little explored. The middle sector is said to be more saline than the upper and lower but this needs confirmation. The total length of permanent surface water (either running or consisting of strings of pools) is about 80 km. Rains in winter occasionally cause the river to flow torrentially, but it does not normally reach the Red Sea. Total discharge is, however, far from negligible and is estimated at $50.10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$.

2. Water chemistry

Water samples analysed by L.A. Desougi in December 1981 from 36°39'E, 19°29'N, were composed as follows:

alkalinity meq.l ⁻¹	Na mg.l ⁻¹	K mg.l ⁻¹	Ca mg.l ⁻¹	Mg mg.l ⁻¹
2.6-3.5	160-200	8.5-9.2	8.4-12.8	20.9-26.9

This composition corresponds to an undistinguished fresh water.

3. Macrophytes

Some of the stagnant pools had fringing meadows of Typha angustifolia. No submerged macrophytes are on record. The canyon had local growths of cyperaceae in humid places. Tamarix sp. and date palms grow on the edges of the valley.

4. Algae

Compère (1984) notes a development of filamentous algae, both in the river bed and on stones, of Spirogyra, Mougeotia, Oedogonium, Ulothrix, Anabaena, Cylindrospermum, Lyngbya and Oscillatoria. Green and blue-green microalgae and bacteria, flagellates and desmids were also abundant. The most abundant species of diatoms were Caloneis bacillum, C.<clevei, C. ventricosa var trunculata, Cymbella hustedti f. stigmata, Gomphonema parvulum, Navicula cuspidata, N. subrhynchocephala, Nitzschia elegantula, N. hustediana, N. microcephala, N. tryplionella.

5. Invertebrates

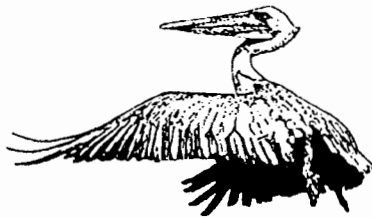
De Ridder (1984) found 10 species of rotifers, while Dumont et al. (1984) report the Cladocera Alona rectangula, A.<pulchella, Macrothrix spinosa. Martens (1984) identified 8 ostracod species: 4 of these belonged to Hemicypris and in addition Limnocythere stationis and Ilyocypris gibba were found. Dragonflies (Dumont & Martens 1984) are noteworthy for the occurrence of two gomphids (Paragomphus genei and P. sinaiticus). The only zygopteran present was Ischnura evansi, a species with a predominantly Irano-Turanian range. Other insect groups remain undocumented.

6. Vertebrates

The cyprinodont Aphanius dispar occurs in tremendous densities throughout the Arbaat valley (Sandon 1950; Dumont 1981, pers. observ.). This euryhaline species is also found among coral reefs in the Red Sea, and is a landlocked relict of former higher levels of the oued. Other fish species have not been observed. A remarkable reptilian is the water turtle Pelomedusa subrufa, which has also been seen in Wadi Amur on the western side of the divide. Wild asses, gazelles, nubian ibex, and leopard still live in and around the Arbaat catchment.

7. Human activity and management

Stray stands of date palm are scattered over the valley in small oases. Some gardens are irrigated. The main function of Khor Arbaat is, however, to supply drinking water to the city of Port Sudan. A pumping station has been erected for this purpose at the mouth of Arbaat gorge. It pumps up the water slightly beyond the point where it starts seeping into the sands of the delta, and conveys it to the town.



AFRIQUE OCCIDENTALE

Coordonnateur

WEST AFRICA

Co-ordinator

*Jean-Yves GAC*3.1. LAGUNES COTIERES / COASTAL LAGOONS3.1.a. LAGUNES DE COTE D'IVOIRE

par Philippe Dufour

La plupart des lagunes ivoiriennes s'étendent sur près de 300 km le long des côtes orientales du pays, jusqu'au Ghana. Ce système qui couvre une surface de 1200 km² est en réalité constitué de trois lagunes principales qui font l'objet des paragraphes suivants : d'ouest en est, les lagunes de Grand Lahou, Ebrié et Aby (fig. 3.2).

D'autres petites étendues d'eau saumâtre, de quelques km² de surface complètent cet ensemble. Ce sont les lagunes de Kodioboué et Hebé à l'est de Grand Bassam, les lagunes Ngni et Katibo à l'ouest de Sassandra, et les lagunes Digbwé à San Pedro.

1. Climat (cf. fig. 3.7)

Aw_{4a}, équatorial de transition.

Grande saison sèche de décembre à mars; grande saison des pluies de mai à juillet; petite saison sèche d'août à septembre; petite saison des pluies d'octobre à novembre.

Insolation: Moyenne annuelle 1812 h.an⁻¹; Max. en mars (200 h) et min. en août (80 h).

Rayonnement solaire incident: Moyenne annuelle 15,7.10⁶ J.m⁻².d⁻¹.
Maximum en avril 19,7.10⁶ J.m⁻².d⁻¹,
minimum en août 11,5.10⁶ J.m⁻².d⁻¹

Vent: Vitesse moyenne 1,4 m.s⁻¹; maximum en août et septembre; minimum en octobre à décembre. Direction prédominante SW

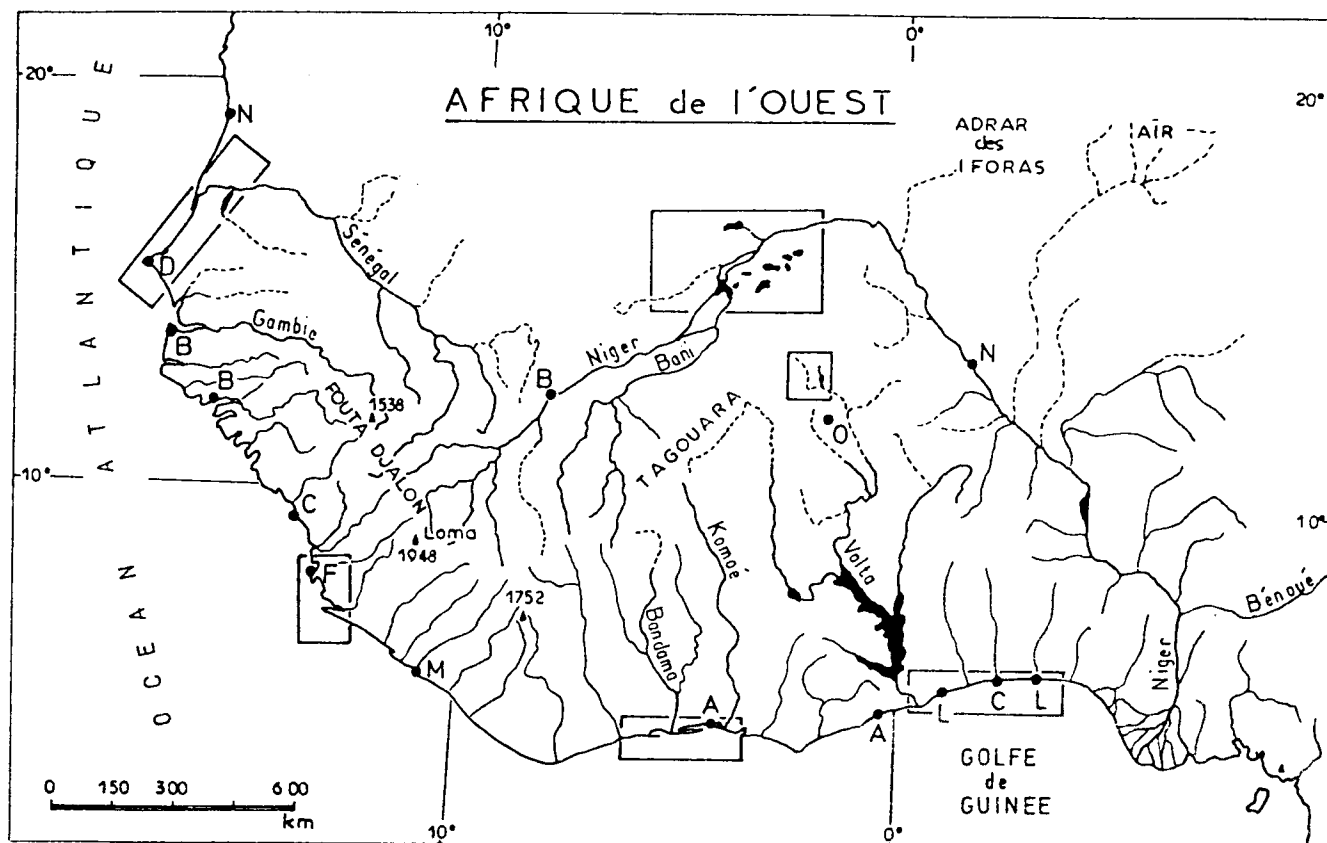


Fig. 3.1 Carte d'ensemble de l'Afrique occidentale, indiquant les capitales (mentionnées par leurs initiales) et la localisation des cartes sous-régionales/Regional map of West Africa indicating capital cities (by their initials) and the location of sub-regional maps.

Pluviométrie:

- Sur les lagunes et le sud de leurs bassins versants: zone guinéenne au sud du 6°N: moyenne annuelle: 2100 mm, maximum en juin (690 mm); minimum en janvier (28 mm).
- Sur le nord des bassins versants: zone soudanaise au nord du 8°N : moyenne annuelle: 1200 à 1700 mm en une seule saison de juillet à septembre.
- Sur la zone intermédiaire: zone baouléenne. Deux saisons des pluies plus courtes, moins intenses et plus rapprochées qu'au sud.

Evaporation: Evapotranspiration potentielle: 1356 mm.an⁻¹, maximum en mars (142 mm), minimum en août (82 mm). Evaporation estimée sur la lagune Ebrié: 1250 mm.an⁻¹.

Température de l'air: Moyenne annuelle 26,2°C. Maximum en mars (moyenne 27,7°C, moyenne maximum journalière: 32,1°C; moyenne minimale journalière: 23,3°C). Minimum en août (moyenne 24,4°C; moyenne maximale journalière: 27,3°C; moyenne minimale journalière : 21,3°C)

Humidité de l'air: Moyenne: 85%.

2. Géologie

Lithostratigraphie: Le substrat est varié; il est le plus souvent constitué de Miopliocène continental, de Crétacé et de Miocène marin altéré et érodé.

- **Lagune de Grand Lahou :**

On distingue:

- au nord, le Miopliocène (continental terminal) et dans les dépressions des vases et sables lessivés de l'Holocène.
- au sud, principalement des sable argileux azoïques des bas plateaux de l'Antéholocène (origine continentale).
- le long du littoral, des sables des cordons lagunaires d'origine marine récente (Holocène).

- **Lagune Ebrié (fig. 3.3):**

- au nord de la lagune, le substrat est surtout composé par le Miopliocène sabloargileux (continental terminal); au sud par les sables argileux de l'Antéholocène.
- au sud de la lagune, le substrat est composé de sables azoïques de l'Antéholocène alternés avec des bandes de vases et sables lessivés des dépressions datant de l'Holocène: le long du littoral : sables des cordons lagunaires d'origine marine récente.

- Lagune Aby:

Le substrat est surtout composé:

- au nord de la lagune, du continental terminal des hauts plateaux (Miopliocène).
- plus au sud, à l'est du bassin Aby, de sables argileux des bas plateaux datant de l'Antéholocène.
- au sud des bassins Aby et Tendo, des vases et sables d'origine fluvio-lagunaire de l'Holocène et comme ailleurs le long du littoral, des sables marins des cordons lagunaires datant aussi de l'Holocène

Géomorphologie du bassin sédimentaire côtier (fig. 3.4): Les hauts plateaux du Miopliocène continental, vers 40 m d'altitude, occupent la partie nord des lagunes; ils sont relayés au sud par la formation antéholocène des bas plateaux d'une dizaine de mètres d'altitude. Plus au sud les cordons littoraux sableux marins, parallèles à la côte, de 2 à 6 m d'altitude, alternent avec les remplissages fluvio-lagunaires des lagunes et des dépressions plus ou moins marécageuses.

Environnements structuraux et néotectoniques: Le bassin sédimentaire du sud de la Côte d'Ivoire est directement pris en écharpe par le prolongement de la fracture océanique "St Paul", transverse de la ride médioatlantique, qui recoupe obliquement les directions structurales du socle. Cet accident majeur est accompagné de failles satellites parallèles. Des failles méridiennes, liées aux directions du socle continental, déterminent des compartiments, eux-mêmes divisés en marches d'escalier par des failles méridiennes.

Néotectonique: L'existence d'accidents séparant des formations d'âges différents témoignent d'une néotectonique active. Rien ne permet de mesurer le jeu des failles.

Sédiments lagunaires: Sur le pourtour des lagunes, et, en général sur les fonds inférieurs à 2,5 m, le sédiment est composé de sables et silts à grain médian compris entre 1,6 mm et 45.10^{-6} m. Les chenaux plus profonds sont recouverts par des vases et argiles fines à grain médian inférieur à 5.10^{-6} m. La teneur en eau de ces vases est toujours élevée: 200 à 700% du poids du sédiment sec.

Les minéraux argileux sont par ordre d'importance décroissante la kaolinite puis l'illite et les interstratifiés gonflants de type illite-montmorillonite.

Les teneurs en calcite de 0 à 15% sont liées à la présence de coquilles de mollusques. La pyrite est présente dans les vases riches en matière organique. La matière organique est abondante dans les sédiments fins dans les chenaux et les fossés, où son accumulation est liée à l'hydrodynamisme, et dans les secteurs à forts apports de débris végétaux continentaux ou planctoniques. Ses teneurs sont comprises entre 0 et 1% dans les sédiments sableux et dépassent 20% dans les vases. Elles peuvent atteindre 50% à proximité des rives plates couvertes de palétuviers.

Les dépôts dans les fosses profondes et en zone urbaine sont fortement réducteurs.

3. Géographie et morphologie

- Lagune de Grand Lahou:

Localisation: Département d'Abidjan, sous-préfecture de Grand Lahou, 5° à 5°25'W, environ 5°10'N.

Surface du bassin versant: 104 000 km² (93% en zone soudanaise).

Surface de la lagune: 190 km².

Morphométrie du bassin: bassin principal allongé E-W sur 50 km de long, parallèlement à la côte atlantique; communication quasi permanente avec l'océan par le grau de Grand Lahou; communication artificielle par un canal avec la lagune Ebrié à l'est.

Profondeur moyenne: environ 3 m.

- Lagune Aby:

Localisation: Département d'Aboisso, sous-préfectures d'Adiaké et d'Aboisso. Environ 30 km² en territoire ghanéen. 2°5' à 3°20'W et 5°06 à 5°24'N.

Surface du bassin versant: 26 500 km², entièrement en zone guinéenne.

Surface de la lagune: 424 km².

Morphométrie du bassin: est composé à l'ouest du bassin Aby proprement dit en forme de massue à axe perpendiculaire à la côte et des bassins Tendo et Ehy à l'est, allongés parallèlement à la côte atlantique; communication naturelle permanente avec l'océan par le grau d'Assinie; communication artificielle à l'ouest avec la lagune Ebrié par un canal.

Profondeur moyenne: 3,8 m ; max. 23 m.

- Lagune Ebrié:

Localisation: Département d'Abidjan, sous-préfectures d'Abidjan, Bingerville, Dabou, Jacquerville, Bonoua et Grand Bassam. 3°40' à 4°50'W et 5°20'N environ.

Surface du bassin versant: 93 600 km²; 65% en zone soudanaise.

Surface de la lagune: 566 km².

Morphométrie du bassin: bassin principal étroit (1 à 7 km de large), à axe principal parallèle à la côte océanique, sur 125 km de long; bassins annexes Aghien et Potou orientés SE-NW. Nombreuses baies périphériques sur 20% de la surface totale.

Profondeur moyenne: 4,8 m.

- Paysages du bassin versant: communs aux trois lagunes.

Du nord au sud: Plateaux de 300 à 500 m au nord du 8°N; Glacis de 100 à 200 m entre 6° et 8°N; Plaine plus ou moins vallonnée inférieure à 200 m au sud du 6°N; Plateaux étagés de 100 à 50 m juste au nord des lagunes; Cordons littoraux de 6 à 10 m entre les lagunes et l'océan.

Toutes ces formations sont parcourues par des plaines alluviales d'orientation prédominante N-S.

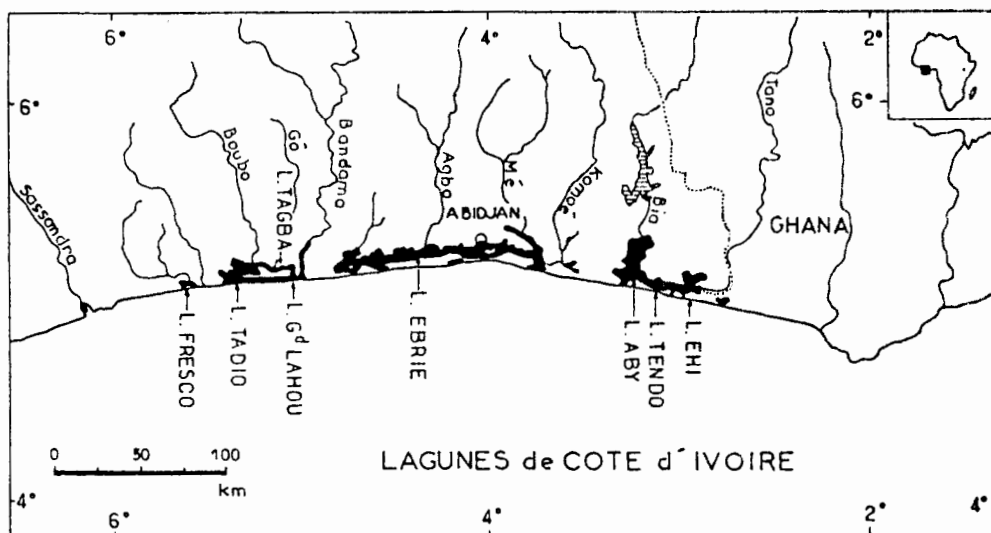


Figure 3.2 Lagunes côtières de Côte d'Ivoire

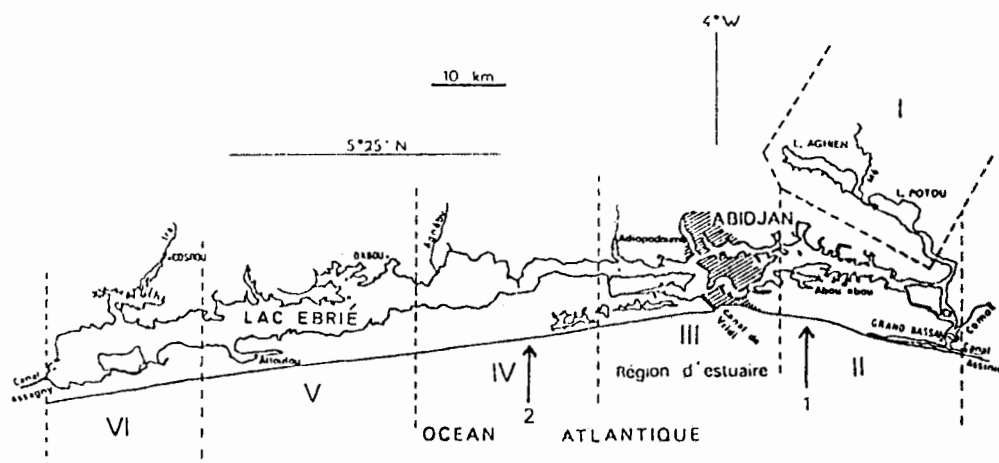
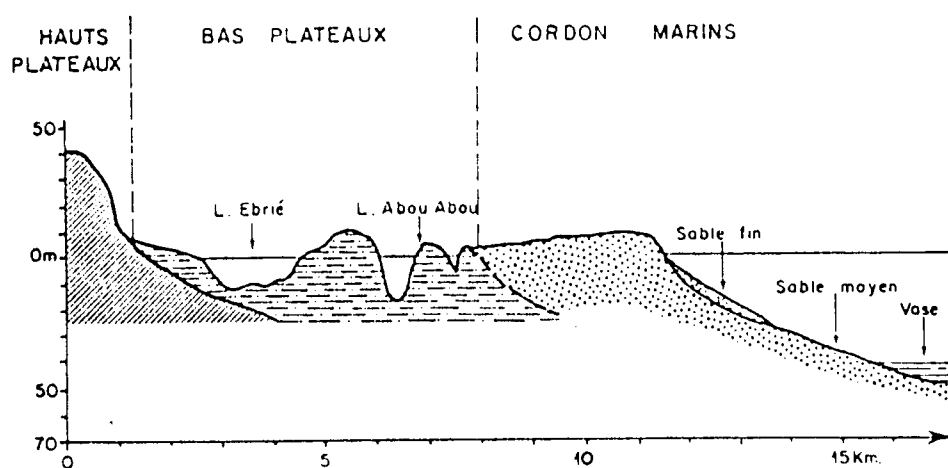
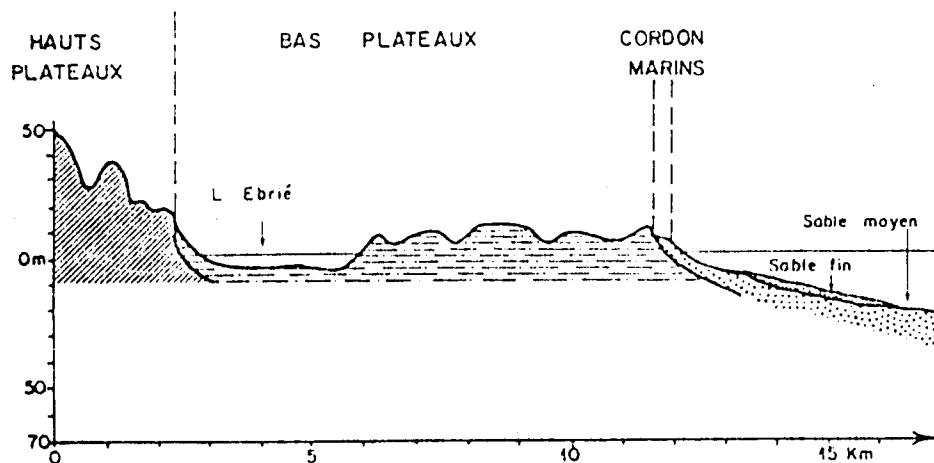


Figure 3.3 Le système lagunaire Ebrié et son découpage régional: Régions I, V et VI fermées (peu renouvelées); Régions II, III et IV ouvertes (très renouvelées par les eaux continentales et océaniques).



①



②

Figure 3.4 Coupes morphologiques du littoral de la Côte d'Ivoire au niveau de la lagune Ebrié (d'après Tastet 1979).

4. Hydrographie et hydrologie

- Lagune du Grand Lahou:

Apports continentaux moyens: $10.10^9 \text{m}^3.\text{an}^{-1}$, 95% par le fleuve Bandama; variabilité interannuelle importante; apports atmosphériques non estimés; ouverture quasi permanente sur l'océan; apports océaniques inconnus. Influence des apports continentaux maximale en septembre-octobre. Taux de renouvellement moyen par les eaux continentales: 18an^{-1} .

- Lagune Aby:

Apports continentaux moyens: $1,9.10^9 \text{m}^3.\text{an}^{-1}$ par la Bia; $4,2.10^9$ par la Tanoe; $0,35.10^9$ par le ruissellement diffus; $0,9.10^9$ par les précipitations directes; exportation de $0,6.10^9 \text{m}^3.\text{an}^{-1}$ par évaporation.

Crues principales des rivières en juin-juillet; secondaire en septembre-octobre; variabilité interannuelle des apports continentaux considérable (facteur 4). Taux de renouvellement moyen par les eaux douces: $2,5.\text{an}^{-1}$. Ouverture permanente sur l'océan; apports océaniques inconnus.

- Lagune Ebrié:

Apports continentaux moyens: $9,85.10^9 \text{m}^3.\text{an}^{-1}$ (Comoe 7,1; Mé 1,5; Agneby 0,9). Variabilité interannuelle considérable (facteur 5).

Crue principale du Comoe en septembre-octobre (eaux soudanaises). Crue principale des autres rivières en juin-juillet; secondaire en octobre-novembre. Apports atmosphériques directs: $1,1.10^9 \text{m}^3.\text{an}^{-1}$; apports océaniques $38.10^9 \text{m}^3.\text{an}^{-1}$; exportation par évaporation $0,7.10^9 \text{m}^3.\text{an}^{-1}$. Taux de renouvellement moyen par les eaux douces: $3,5.\text{an}^{-1}$, variable de 30 en régions ouvertes à $0,4.\text{an}^{-1}$ en régions fermées. Ouverture océanique permanente par le canal artificiel de Vridi. Communication avec les deux lagunes voisines par des canaux artificiels.

5. Caractéristiques physico-chimiques

Compte tenu de la grande variabilité spatiale et temporelle de ces caractéristiques dans les lagunes, les moyennes globales n'ont pas de signification. Les valeurs indiquées sont plus fiables en lagune Ebrié, où on dispose d'un grand nombre de mesures, qu'en lagunes Grand Lahou et Aby. Le schéma de variations décrit pour la lagune Ebrié peut probablement être généralisé aux autres lagunes.

Tableau 3.1: Moyennes des paramètres physico-chimiques en surface en lagune de Grand Lahou.

Paramètre	Saison sèche janvier-avril	Saison des pluies mai-juillet	Saison des crues septemb.-novemb.
Température de surface (C)	28-32	24-29	28-31
Salinité de surface (‰)	10-25	0-10	0-5
Transparence (m)	0,5-3	0,3-2	0,1-1,5
PO ₄ (10 ⁻⁶ g.l ⁻¹)	de 0 à 60		
NO ₃ (10 ⁻⁶ g.l ⁻¹)	de 0 à 150 (max en saison des pluies)		
NO ₂ (10 ⁻⁶ g.l ⁻¹)	de 0 à 150 (max en saison des pluies)		
O ₂ en surface (ml.l ⁻¹)	de 2,5 à 6		

Tableau 3.2. Moyennes des paramètres physico-chimiques en lagune Aby.

Paramètre	Saison sèche février	Saison des pluies juillet	Saison des crues octobre
Température de surface (C)	28-32	26-29	27-32
Salinité de surface (‰)	0-20	0-5	0-5
en profondeur (6 m)	18-22	18-22	18-22
Transparence (m)	0,2-1,5	0,2-1	0,4-1
PO ₄ (10 ⁻⁶ g.l ⁻¹) en surface	de 0,5 à 80 jusqu'à 1000		
en profondeur			
NO ₃ (10 ⁻⁶ g.l ⁻¹) en surface	de 0 à 150		
NO ₂ (10 ⁻⁶ g.l ⁻¹) en surface	de 0 à 60		
O ₂ en surface (ml.l ⁻¹)	de 3 à 7		
en profondeur	0		

Le bassin central Aby comporte une zone centrale profonde, comprise entre 6 et 17 m, dont les eaux réductrices toute l'année sont peu renouvelées par les courants d'eau douce et de marée.

- Lagune Ebrié (fig. 3.5)

Les caractéristiques physico-chimiques sont sous la dépendance principalement des échanges d'eaux océaniques et continentales, des précipitations et des rejets humains, variables géographiquement et saisonnièrement.

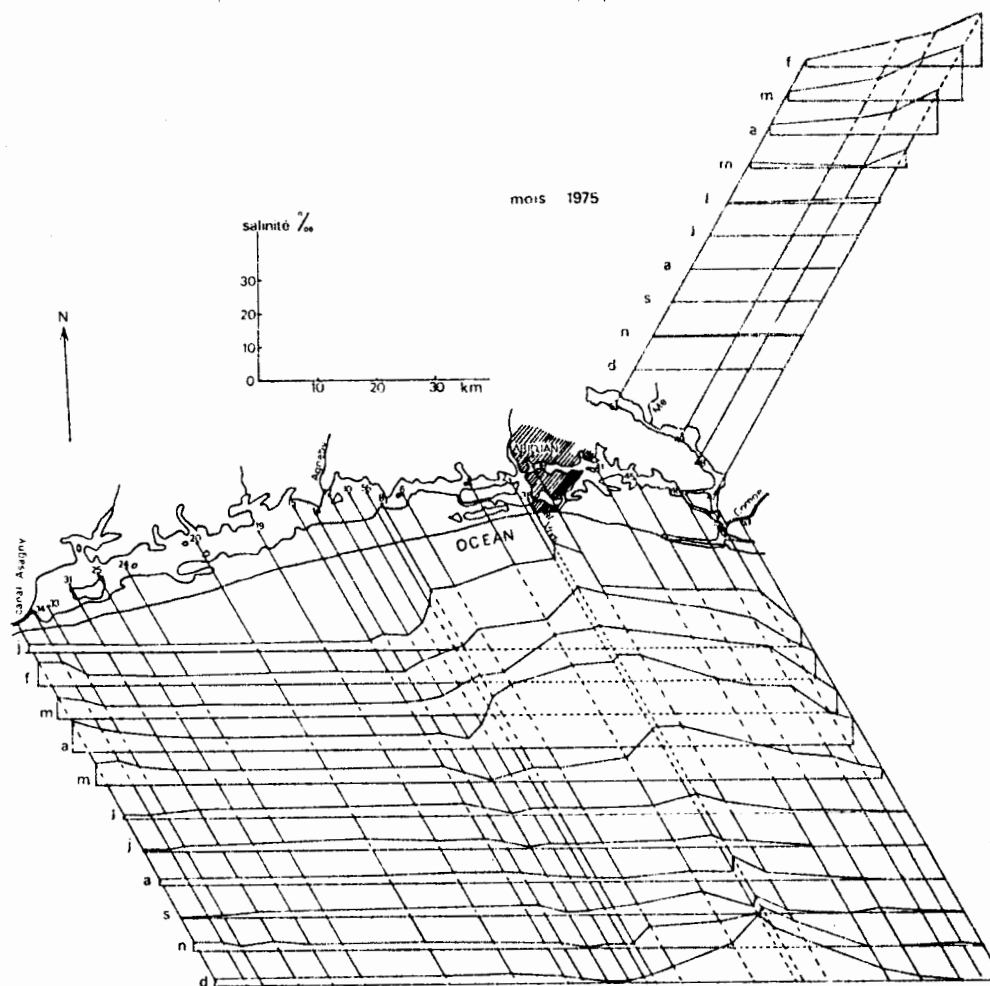


Figure 3.5 Variations régionale et saisonnières des salinités de surface en lagune Ebrié (année 1975, d'après Dufour 1982).

Les eaux d'origine océanique sont plus froides que les eaux d'origine continentale qui sont par contre plus acides, plus turbides et plus riches en sels nutritifs. Les concentrations en éléments nutritifs N et P (sous toutes leurs formes, soit minérales et organiques, dissoutes ou particulaires) croissent dans l'ordre suivant: eaux océaniques de saison chaude, eaux océaniques d'"upwelling", eaux continentales originaires de la savane (zone soudanaise), eaux continentales originaires de la forêt (zone guinéenne), eaux météoriques, eaux usées par l'activité humaine. Il en résulte que les concentrations nutritives croissent des saisons d'étiage aux saisons de dessalures et de la région d'estuaire, proche de l'océan, vers les régions continentales.

Dans le tableau suivant sont fournies les moyennes annuelles (généralement collectées en 1975-76) dans les régions fermées du secteur occidental de la lagune (peu renouvelées par les eaux océaniques et continentales) et ouvertes centrales très renouvelées par les eaux océaniques et continentales), urbaines ou rurales. Ces moyennes ne doivent pas masquer une variabilité extrême; par exemple les concentrations en phosphates relevées varient de 0 à 340 mg.l⁻¹. On note qu'une plus grande proportion de sels nutritifs est stockée sous forme particulaire dans les régions fermées et dans les secteurs pollués.

Tableau 3.3. Moyennes des paramètres physico-chimiques en surface en lagune Ebrié.

Paramètres	Région fermée	Région ouverte rurale	Région ouverte urbaine
Température en surface (C)	extrêmes de 22,5 à 35 et moyenne de 25 à 31		
Salinité en surface (‰)	2 à 5	0 à 32	0 à 32
Transparence (m)	0,5 à 2	0,1 à 3	0,05 à 2
N minéral dissous (10 ⁻⁶ g.l ⁻¹)	24	95	12
N organique dissous (10 ⁻⁶ g.l ⁻¹)	310	260	350
N particulaire (10 ⁻⁶ g.l ⁻¹)	420	140	700
P minéral dissous (10 ⁻⁶ g.l ⁻¹)	7	20	40
P organique dissous (10 ⁻⁶ g.l ⁻¹)	12,5	14	42
P particulaire (10 ⁻⁶ g.l ⁻¹)	52	25	87
Oxygène (% de saturation en surface)	50 à 150% (max. secteurs eutrophes le soir)		
pH en surface	6,5 à 10 (max: secteurs eutrophes, saison d'étiage, le soir, et min: zone d'influence continentale le matin)		

- Régime de mélange

Mélanges verticaux: Compte tenu de la faible profondeur et de l'agitation due aux vents et aux courants, les concentrations (salinité, N et P) sont généralement homogènes sur l'épaisseur de la colonne d'eau en lagune Ebrié, à l'exception des secteurs les plus profonds et de la zone d'estuaire (proche du canal de Vridi) qui couvrent moins de 15% de la surface lagunaire.

La situation est probablement identique en lagune de Grand Lahou. Une stratification accentuée, liée à l'activité photosynthétique, à la sédimentation, et aux phénomènes de dégradation des matières organiques, a néanmoins été observée sur de larges surfaces des lagunes Ebrié et de Grand Lahou en période de calme exceptionnel au printemps 1980. Une couche anoxique et réduite a été alors observée en profondeur, gagnant progressivement la surface et empoisonnant toute la colonne d'eau, au moment du retour de l'agitation associée à des conditions d'éclairement incidents très défavorables (tornades). Il s'ensuivit des mortalités massives de poissons.

Différemment, le bassin central de la lagune Aby, plus profond (jusqu'à 17 m), est régulièrement structuré sur la verticale. Il y existe en-dessous de 6 m une couche d'eau anoxique, plus froide et salée, et plus riche en sels minéraux essentiellement à l'état de réduction maximum (NH_4 , H_2S et PO_4 non complexé et non immobilisé).

Mélanges et circulation horizontaux: La marée dynamique se propage de l'aval à l'amont avec retard et amortissement (jusqu'à 6 h 30 et 90% aux extrémités de la lagune Ebrié). Elle est perturbée par des phénomènes de seiches propres à chaque bassin.

La marée saline se propage selon un rythme biquotidien et saisonnier lié à l'amplitude des marées et aux débits des rivières concurrentes. Dans les zones proches de la communication avec l'océan, la circulation est de type estuarienne (laminaire) avec entrée d'eau marine en profondeur et sortie d'eau saumâtre en surface. En amont, au fur et à mesure que la profondeur diminue les mouvements des eaux deviennent plus turbulents et la colonne d'eau s'homogénéise. En saison de crues, les secteurs entre l'embouchure des rivières et l'exutoire en mer ont un régime de circulation de type lotique, ceci principalement en lagune Ebrié où le bassin lagunaire est étroit.

- Bilan des sels nutritifs

En lagune Ebrié, l'élément nutritif le plus limitant est le P en régions fermées, l'N en régions ouvertes. En régions fermées, la production autotrophe est presque exclusivement supportée par un recyclage interne des sels nutritifs (production de régénération). En région ouverte, elle est tributaire des apports de sels nutritifs (en provenance des régions amont, du continent, de l'océan et de l'atmosphère). Globalement la lagune Ebrié apparaît importatrice d'éléments nutritifs sous forme minérale et organique détritique, et exportatrice (vers l'océan) de biomasse végétale. L'exportation vers l'océan de 3500 t de N_{tot} (minéral et organique, particulaire et dissous) est responsable du 1/10ème de la production autotrophe du plateau continental océanique face à la lagune.

Le régime des sels nutritifs sur les autres lagunes ivoiriennes, non étudié, est probablement identique.

6. Macrophytes

Les macrophytes se localisent exclusivement sur les rives. En bordure des eaux calmes peu salées, de la pleine eau à la rive, la succession est la suivante: une zone externe à hydrophytes libres, une zone moyenne à hydrophytes fixées nymphoïdes ou rubanées et une zone interne, qui est la prairie aquatique, où dominent les grandes graminées flottantes. Selon les conditions écologiques locales, les zones s'interpénètrent, l'une disparaissant au profit des autres.

Sur les sols hydromorphes alluvionnaires, riches en matières organiques, salés et soumis au régime des marées, on rencontre des mangroves ou forêts. Les palétuviers rouges et blancs, Rhizophora racemosa et Avicennia africana y jouent le rôle essentiel, puis par place des fourrés à Acrostichum aureum et des prairies à Paspalum vaginatum. A cette forêt littorale succèdent souvent des zones marécageuses.

Ces groupements végétaux sont en régression du fait de l'urbanisation des berges, du défrichage, de l'aménagement agricole et des coupes pour besoin de chauffage et autres. Leur rôle sur l'écologie des lagunes ivoiriennes n'est pas connu.

7. Phytoplancton et phytobenthos

- Lagune Ebrié

Groupe taxonomique: Les régions les plus fermées sont dominées par des cyanophycées. Les indices de diversité (Shannon) tournent autour de 2. Les régions ouvertes sont dominées en saison d'étiage par des diatomées, dinoflagellés et cyanophycées de relativement grande taille et bien diversifiées (Shannon = env. 2). En saison de crues on n'observe plus que quelques diatomées d'eau douce ou des euglénophycées (Shannon = env. 1).

Dans les baies polluées, on observe des fleurs d'eau de petits dinoflagellés, euglénophycées, cryptophycées et chlorophycées souvent très peu diversifiés (indice = env. 1).

Biomasse et production du phytoplancton (fig. 3.6): Dans les régions ouvertes, biomasse et production brute sont maximales en saison d'étiage. En saison de crues, la turbidité élevée contrarie la photosynthèse et les courants évacuent vers l'océan la biomasse produite. Dans les régions fermées biomasse et production brute sont plus stables au cours de l'année et plus élevées. Cette plus grande production est en quasi totalité entretenue par un recyclage interne de matière et caractérise un écosystème diversifié et mature. Tout à fait différemment, la plus faible production des régions ouvertes est supportée par des sels nutritifs issus du continent et elle enrichit globalement le complexe lagune-océan en matière végétale.

Production et biomasse sont les plus élevées dans les secteurs pollués par l'agglomération d'Abidjan.

Les moyennes annuelles, ainsi que les termes du bilan de matière et d'énergie dans les différentes régions sont résumées dans le tableau suivant:

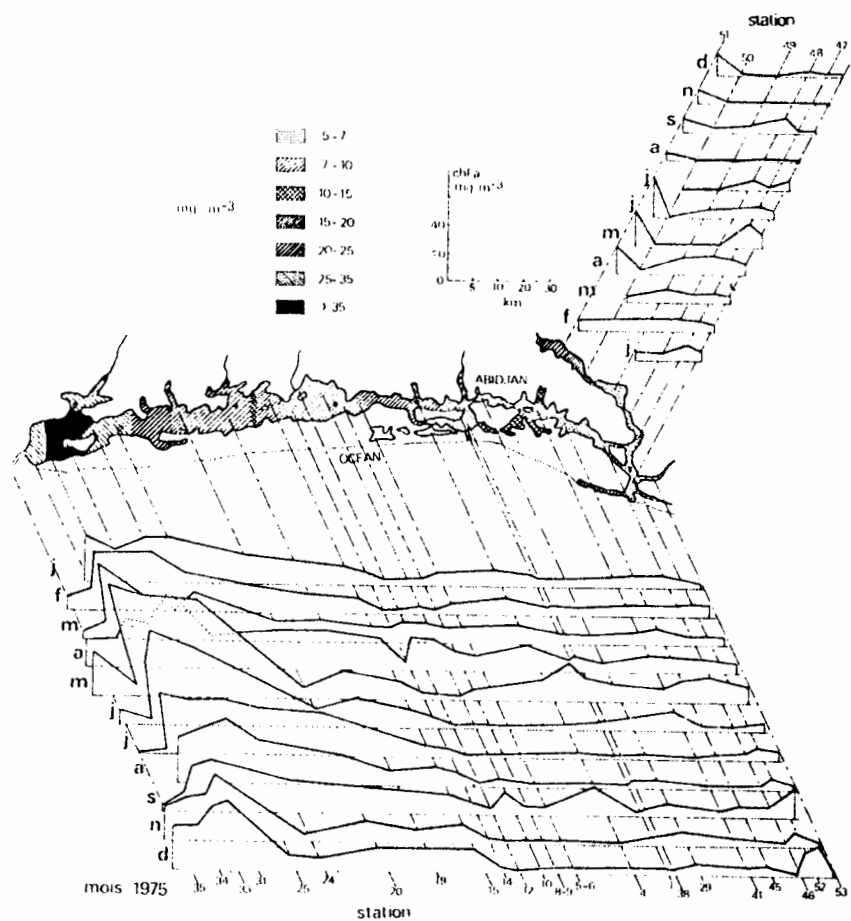


Figure 3.6 Concentrations en chlorophylle *a* totale en 1975 en surface de la lagune Ebrié (d'après Dufour 1983, thèse Doct., ORSTOM, Paris). Carte centrale: moyenne annuelle; de part et d'autre: concentrations mensuelles.

TABLEAU 3.4. — Valeurs moyennes de quelques paramètres du phytoplancton et de sa production dans une région « fermée », dans une région « ouverte », en région urbaine d'Abidjan et en région rurale proche (lagune Ebrié).

Paramètres	Epoque	Unités	Région fermée (VI)	Région ouverte rurale (III _r)	Région ouverte (III _{tot})	Région ouverte urbaine (III _u)	Lagune entière (total ou moyenne)
Biomasse							
C _p du seston	1975	mg.m ⁻³	4862	804	1081	1310	2353
Chlorophylle « a » totale = B	1975	mg.m ⁻³	34,7	7,3	14,3	20,1	16,5
% de phéopigments (médianes)	1975	%	24	28		21	
C _p annuel de B	1975	%	49	59		75	
Indice de Shannon (phytoplancton)	1976		~2	1-2		~1	
Production du phytoplancton							
Production brute annuelle							
ΣΣΣ A	1975	gO ₂ m ⁻²	2070	590	862	1050	1405
ΣΣΣ A/Σ B	1975	gO ₂ /(mg chla)	17,5	9,4	8,0	7,6	17,8
Respiration annuelle ΣΣΣ R	1975	gO ₂ m ⁻²	1312		273		650
ΣΣΣ R/ΣΣΣ A	1975	%	63		32		46
Production nette annuelle							
ΣΣΣ P	1975	gO ₂ m ⁻²	758		589		755
ΣΣΣ R/ΣΣΣ P	1975		1,73		0,46		0,86
Flux de matière							
Importation de B	Moyenne	gC.m ⁻² an ⁻¹	0,15		125		12
Exportation de B	"	"	1,88		238		30
Bilan de B aux frontières	"	"	1,73		113		18
B importée/B produite <i>in situ</i>	"	%	0,06		68		5
B exportée/B produite <i>in situ</i>	"	%	1,07		129		12,7
B exportée/B produite et importée	"	%	1,07		77		12,0
Renouvellement de B par Σ P	"	j	19,2		8,4		12,6
Renouvellement de B par Σ P et les importations	"	j	19,2		5,0		12,0
Pour-cent de ΣΣΣ A « nouvelle »	1975	%	< 1,7		> 83		
Pour-cent de ΣΣΣ P « nouvelle »	"	%	< 4,1		> 100		
Flux d'énergie							
p énergie absorbée par le phytoplancton	1975	%	20,6	4,5	6,8	9,1	12,9
p _{tot} rendement de la production brute	1975	%	0,54	0,16	0,22	0,28	0,37
p _{tot} rendement de la production nette	1975	%	0,22		0,15		0,20

Le phytobenthos est abondant jusqu'à 2 mètres d'immersion (100 à 200 mg Chl a.m⁻²); en-dessous de 3 m, la biomasse phyto-planctonique de la colonne d'eau sus-jacente est plus importante. Sur l'ensemble de la lagune Ebrié, la production brute du phytobenthos est estimée à 10% de celle du phytoplancton.

- Lagune Aby

Les concentrations phytoplanctoniques semblent plus élevées en moyenne qu'en lagune Ebrié: 53 mg.m⁻³ en février (saison d'étiage) 27 et 13 mg.m³ en juillet et octobre (saison des crues). Mais la transparence plus faible, entrainerait à l'échelle annuelle une production brute à peu près identique à celle de la lagune Ebrié.

- Lagune de Grand Lahou

Peu de mesures, même ordre de grandeur que dans les deux autres lagunes.

8. Invertébrés

Zooplancton

- Lagune Ebrié

Le calanoïde Acartia clausi est pratiquement la seule espèce du mésozooplancton de la partie ouest (fermée), et il domine dans la majeure partie des régions centre et est (ouvertes) où abondent également des formes marines côtières. Une croissance assez élevée durant la phase copépodite, est notée chez Acartia (entre 0,26 et 0,89.10⁻⁶g de poids sec 10⁻⁶g⁻¹.j⁻¹). La production d'oeufs par les femelles varie selon les régions avec des chiffres extrêmes de 0,3 et 120,5 oeufs par femelle par jour (0,002 à 0,55.10⁻⁶g⁻¹.j⁻¹).

La biomasse du zooplancton est relativement faible, représentant de 0,2 à 4,2% de la biomasse des microparticules - ciliés, algues, bactéries, détritus - inférieures à 60.10⁻⁶m. Les estimations faites la situent entre 4 et 6 kg de poids sec ha⁻¹. Le temps de renouvellement de la biomasse estimée pour les populations d'Acartia est de l'ordre de 3 jours.

- Autres lagunes Peu de connaissances

Macrofaune benthique

- Lagune Ebrié

Les groupes représentés sont les mêmes qu'en mer, avec dans l'ordre d'abondance: Polychètes, crustacés (Isopodes, Amphipodes, Decapodes, Mollusques) oligochètes, németes et géphyriens, mais les populations y sont moins bien diversifiées. L'abondance est maximale sur les petits fonds et quasi nulle en-dessous de 3 m. Les biomasses varient entre moins de 0,1 g PS.m⁻² et près de 100 g PS.m⁻². Dans les régions ouvertes, elles semblent maximales en saison d'étiage. Il faut signaler l'importance tout à fait exceptionnelle d'un petit lamellibranche Corbula (Aloïdis) trigona, très abondant sur les petits fonds des secteurs occidentaux dessalés où il constitue la nourriture presque exclusive des Chrysichthys.

- Autres lagunes Pas de données.

Les Tarets

Les lamellibranchés sont abondants en lagune où ils parasitent les matières ligneuses. On observe Bianka bagidaensis entre 16 et 35 ‰ et Teredo petiti entre 3 et 10 ‰.

La crevette rose Penaeus duorarum notialis

Les adultes pondent en mer. Les post-larves, âgées de 3 semaines environ, pénètrent dans les lagunes à marée montante, la nuit, toute l'année, plus nombreuses en période de nouvelle lune et de septembre à janvier. Les limites de leur pénétration sont liées à l'extension de la marée plus qu'à la valeur des salinités. Les jeunes crevettes sont surtout abondantes dans les secteurs saumâtres, sur les sédiments fins, vaseux et riches en matière organique des berges, roselières, baies et embouchures des rivières. Leur taille moyenne diminue vers l'amont.

Après 2,5 à 3 mois de croissance en lagune, les juvéniles redescendent en mer, la nuit, à marée descendante, principalement entre février et avril, en octobre (crues) et en juin (crues). Pour 95% d'entre elles leur taille est comprise entre 16 et 17 mm (L.C.).

La crevette Macrobrachium

Elle se reproduit dans les rivières: les immatures opèrent leur croissance dans les secteurs très dessalés des lagunes.

Le crabe Callinectes Stimpson

Deux espèces sont abondantes en lagune Ebrié, moins en lagune Aby, C. amnicola et C. pallidus. Les femelles de la première espèce sont matures à partir de 13,5 cm de largeur totale (environ 150 g). La ponte, le développement larvaire et le recrutement des juvéniles ont lieu dans des eaux de salinité supérieure à 17 ‰. Elles sont suivies de la croissance des juvéniles et de l'accouplement dans des eaux de salinité inférieure à 5 ‰. Les mâles ne migrent pas, fréquentant toute l'année les eaux dessalées.

8. Poissons

La faune piscicole comporte plus d'une centaine d'espèces. Les plus abondantes sont les suivantes:

Ethmalosa fimbriata: pélagique planctonophage très euryhaline (1 à 36 ‰), se rencontre en abondance sur l'ensemble des trois lagunes. La ponte a lieu dans des eaux de salinité supérieure à 5 ‰, en lagune ou en mer, où les juvéniles se maintiennent 4 mois jusqu'à la taille approximative de 6 cm. Puis ils se répartissent sur l'ensemble du système lagunaire jusqu'à 9-12 mois (12 cm). Ils se rassemblent ensuite sur les lieux de ponte de novembre à juin pour des tailles de 13 à 15 cm, puis après la ponte, quittent les lagunes pour l'océan.

Tilapia jentinki, T. guineensis et T. heudelotii: espèces estuariennes vraies qui peuvent dérouler toute leur existence en lagune, mais s'observent aussi en mer et dans le bas cours des rivières. (T. guineensis seulement).

Elops lacerta: prédateur, pélagique, se reproduit en mer, seuls les immatures sont abondants en lagune.

Chrysichthys nigrodigitatus et C. walkeri: espèces benthiques liées aux eaux peu salées lors de leur croissance.

Tylochromis jentinki: espèce estuarienne vraie, ponte d'août à février, incubation buccale, adultes matures à partir de 20 mois pour 160 mm de L.F.

Sardinella maderensis: espèce marine estuarienne.

Pomadasys jubelini et Liza falcipinnis: se reproduisent en mer et ont leur phase de croissance en lagune.

10. Activités et aménagement

La pression de l'homme sur les lagunes ivoiriennes est intense, elle s'exerce dans différents domaines: pollution, pêche, grands travaux publics.

Population

En 1970, les populations des bassins versants des trois principales lagunes étaient les suivantes: Ebrié 1 551 000, Aby 88 800, Grand Lahou 1 722 000.

Depuis 1970 la population s'est accrue, surtout sur le bassin versant de la lagune Ebrié où Abidjan est passé de 550 000 habitants en 1970 à plus de 2 000 000 aujourd'hui.

Pollution

Forêts et savanes des bassins versants sont largement défrichées. Le sud supporte des plantations industrielles ou familiales de café, cacaotiers, palmiers à huile, cocotiers, hévéas, bananiers et ananas, le nord surtout des plantations de coton et canne à sucre auxquelles il faut ajouter partout des cultures vivrières. Il est fait un usage encore modéré de pesticides dont certains sont pourtant déjà détectés, en quantités significatives, dans les sédiments (DDT, Lindane).

L'industrie est essentiellement concentrée à Abidjan. Les plus grosses entreprises transforment les produits agricoles et sont à l'origine d'une pollution organique (25% de la pollution organique de la lagune Ebrié). On observe aussi dans les sédiments de la lagune urbaine des teneurs déjà élevées en hydrocarbures PCB, DDT, Lindane et métaux lourds, modérés cependant par rapport à certain milieux aquatiques de pays industrialisés.

Les eaux usées de 500 000 Abidjanais sont collectées par un réseau et aboutissent en lagune après un traitement uniquement primaire et incomplet. On estime que 20% de la pollution organique de la population restante (1,5 M. habitants) parvient aussi en lagune. Il en résulte que le tiers de la DBO de la lagune Ebrié urbaine, soit près

de 20 000 t/an provient de cette pollution. L'eutrophisation résultante se traduit par des gradients significatifs de sels nutritifs, matière organique, phytoplancton et une accélération de certains rythmes biologiques (nombre d'oeufs, croissance, maturité sexuelle) de la zone rurale à la zone urbaine. Une grande partie des fonds des baies de la zone urbaine est anoxique.

Du fait de la pollution bactérienne la baignade est dangereuse (plus de 2000 coli fécaux/100 ml) sur l'ensemble de la lagune Ebrié urbaine. La pêche devrait y être interdite dans certaines zones.

La pression polluante est moins intense sur les lagunes Aby et de Grand Lahou.

Pêches

En 1981 la production des poissons des 3 grandes lagunes ivoiriennes avoisine 8 à 10 000 t/an alors que leur potentiel productif, atteint les années précédentes, est de 15 à 20 000 t/an (identique aux pêcheries océaniques ivoiriennes et représentant 10% de la consommation de poissons du pays).

Tableau 3.5 Estimation des captures des lagunes ivoiriennes en tonnes.

	Poissons	EBRIE Crevettes	Autres crustacés	ABY Poissons
1975	9200 ¹	780 ⁴	1800 ¹	
1976	7600 ²	600 ⁴		
1977	6700 ²	660 ⁴		
1978	6000 ³⁻⁴	(>400) ⁴		
1979	5400 ³⁻⁴	540 ⁴		7900 ⁵
1980		260 ⁴		5000 ^{6*}
1981				3100 ^{6*}
1982				

* Captures estimées sans la pêche individuelle.

Le nombre des engins collectifs (sennes) a eu tendance à croître en lagune Ebrié (+ 360% entre 1964 et 1975) et en lagune Aby à partir de 1970. Leur longueur a été multipliée par 4 ou 5 tandis que leur maillage diminuait de 40 à 14 mm. En 1976-77, elles réalisaient 70 à 75% des captures en lagune Ebrié et leur quasi totalité en lagune Aby (la pêche aux engins individuels est restée générale en lagune de Grand Lahou). Les tonnages capturés augmentant ainsi que la proportion de juvéniles, il en est résulté une surexploitation des stocks et un effondrement des productions (d'ailleurs aussi liés à la pollution et aux grands travaux publics dans une proportion non déterminée). En 1979 on a capturé 5000 tonnes d'Ethmaloses en lagune Aby et seulement 500 t en 1981. Devant cet état de fait, l'effort de pêche des sennes a baissé en lagune Ebrié pour se réorienter progressivement vers l'océan. En 1982, la pêche aux engins collectifs a été provisoirement interdite dans les lagunes Ebrié et Aby, et une nouvelle réglementation adoptée: limitation du nombre de licences, de la longueur des sennes et de leur maillage (désormais 30 mm), ainsi que des périodes de pêche.

Les sennes appartiennent en lagune Ebrié à des propriétaires privés (dont l'activité principale n'est souvent pas la pêche) qui les font manipuler par des manoeuvres allochtones. Les pêches individuelles sont mises en oeuvre par des riverains autochtones auxquels la coutume réserve des territoires. Malgré ce découpage foncier, la surexploitation croissante par les engins collectifs entraîne des conflits entre les deux catégories de pêcheurs. En lagune Aby, les sennes appartiennent à des villageois riverains regroupés en coopérative.

En 1976-77, les Ethmatoses représentaient en lagune Ebrié plus de 60% des captures de poissons. Venaient ensuite représentant chacune 4 à 6% des prises: les Tilapia, Elops, les Chrysichthys, Tylochromis et Sardinella. Les Chrysichthys représentaient la plus grande valeur marchande, suivis des Tilapia et Tylochromis, les Ethmaloses n'arrivant de ce point de vue qu'en 4ème position.

Les rendements moyens annuels ont été de 100 à 200 kg/ha respectivement en lagune Ebrié et Aby, en 1979. Ils varient avec les secteurs sous l'effet des conditions écologiques et des techniques de pêche, dans le temps aussi (cf. supra).

Les pêcheries exclusivement artisanales utilisent huit catégories d'engins ou de techniques; par ordre d'importance des captures en lagune Ebrié: les sennes de plage et tournantes, les filets maillants, les lignes (palangres et à hameçons multiples), les éperviers, les enclos (pêcheries fixes), les nasses, les bambous, enfin épisodiquement et clandestinement les poisons.

Les crustacés sont capturés essentiellement par des filets fixes. Les Penaeus, d'abord exclusivement exploités en lagune Aby, ont été capturés et ce, de façon de plus en plus intense, en lagune Aby et Ebrié à partir de 1967. Leurs captures ont probablement chuté depuis, consécutivement à la fermeture de l'unique entreprise de conditionnement. Par contre, les crabes peu commercialisés au début des années 70 ont vu leur part augmenter: plus de 1000 t en lagune Ebrié à partir de 1976. Les pêcheries de Macrobrachium, moins importantes, sont saisonnières et localisées aux embouchures des rivières.

Les poissons sont commercialisés frais et surtout fumés. Ils alimentent le marché local (20% en lagune Ebrié), Abidjan et le Ghana (pour les prises en lagune Aby). Les crevettes étaient exportées avant la fermeture de l'unique entreprise de conditionnement. Quarante mille personnes vivaient de la pêche et de ses activités annexes rien qu'en lagune Ebrié.

Pisciculture

Des actions de recherche publiques sont menées sur l'élevage des Chrysichthys et Tilapia. Les succès enregistrés dans les domaines de la reproduction, de l'alevinage et de l'alimentation ont conduit le secteur privé à s'intéresser à ce type de production: plusieurs petites unités de production villageoises et fermes piscicoles ont été installées ces dernières années sur les trois grandes lagunes ivoiriennes. Leur production est encore négligeable comparée à celle des pêcheries.

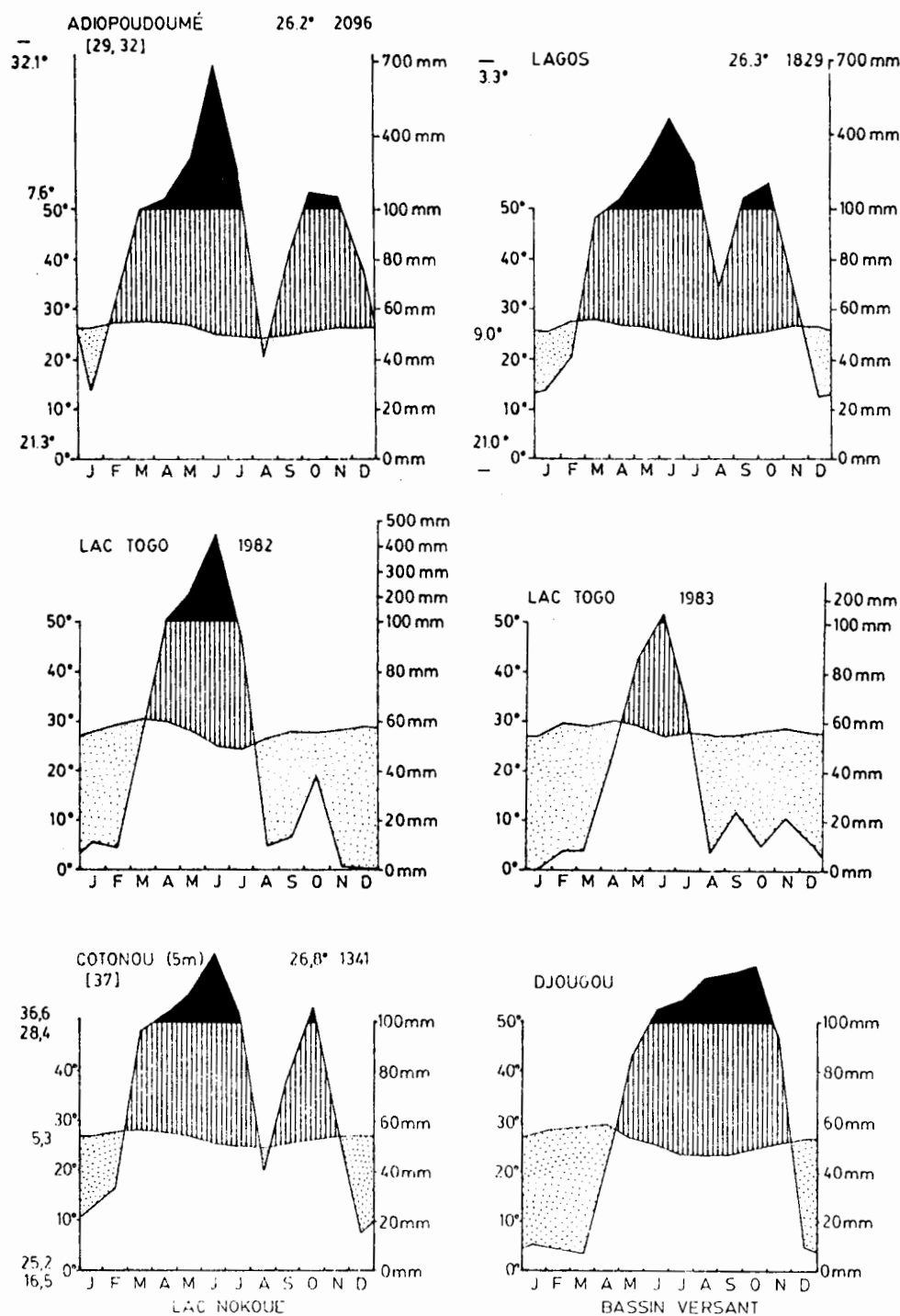


Fig. 3.7 Diagrammes climatiques pour les lagunes côtières d'Afriques de l'Ouest

Les grands travaux publics

Les lagunes ivoiriennes ont été profondément modifiées par les grands travaux publics parmi lesquels le percement du canal de Vridi, mettant en communication permanente l'océan et la lagune Ebrié, a permis l'installation du port d'Abidjan, puissant stimulant économique mais aussi source de pollution. Les conséquences écologiques sont ambiguës et contradictoires: une bonne moitié de la lagune a pris un caractère estuarien, la circulation des eaux et partant l'oxygénation en ont été améliorées. Certaines espèces amphidromiques exploitables (crabes, crevettes, ethmaloses...) ont pu s'y développer avec d'autres moins désirables (larets).

Il faut aussi signaler la construction de digues (Koumassi, Jacqueville) qui perturbent la circulation, l'aération et les migrations.

L'aménagement des rives (quais, remblais...) a entraîné la disparition de la végétation naturelle (mangrove...) principalement dans la zone d'Abidjan.

Autres activités humaines

Les 3 grandes lagunes ivoiriennes sont une voie de transport, pour les hommes et les marchandises, de près de 300 km de long, grâce aux canaux artificiels qui les ont mis en communication. En 1982, un réseau de transport urbain par "aquabus" y a été mis en place à Abidjan.

Les lagunes sont soumises à des extractions de sable, facteur avancé pour expliquer l'accentuation récente de la chute des captures de crevettes.

Les lagunes favorisent aussi une industrie touristique en rapide extension (hotels de standing, club méditerranée).

Remerciements. L'auteur remercie MM. J.M. Ecoutin, D. Guiral, L. Saint-Jean et J.P. Tastet d'avoir bien voulu relire, corriger et compléter cette section du répertoire.

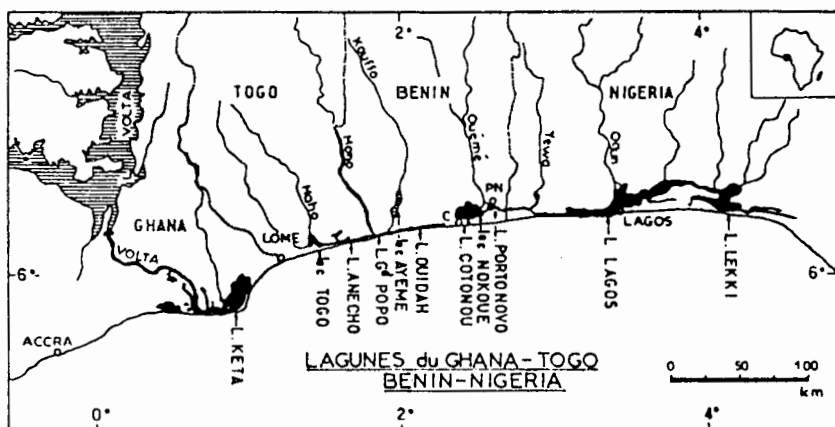


Figure 3.8 Lagunes du Ghana (3.1.b.), Togo (3.1.c.), Bénin (3.1.d.) et Nigéria (3.1.e.).

3.1.b. COASTAL LAGOONS OF GHANA

by Christopher GORDON

1. Introduction

Ghana has a coastline of 550 km along which there are about fifty lagoons (Mensah 1979), many of them less than 0.5 km² (Biney 1984). Kwei (1977) differentiates two types of lagoon: those which are associated with perennial rivers and are open to the sea, and closed lagoons which, for most of the year are cut off from the sea by sand bars (see fig. 3.9).

Very little is known about the majority of these lagoons but a few have been examined with variable intensity by a number of authors, and Mensah (1979) reviews the literature to that date. The most intensive work is a survey of the physico-chemical characteristics of 15 lagoons by Biney (1982, 1984), the results of which are summarised in Tables 3.6 and 3.7. Data on the Amansuri wetlands will be treated separately.

2. The geology and geography of the coastal plains

The coastal plains of Ghana have been divided into three main sections by Dickson and Benneh (1970):

1. The south east coastal plain is up to 80 km wide and the land is flat with a general elevation of less than 75 m. In some places the land is below sea level and is periodically invaded by the sea.
2. Between Accra and the Songaw lagoon the coast is sometimes cliffed and is composed of mid Devonian sandstone, grits shales.
3. Further east the coast line is fairly smooth and is characterised by sandbars. It includes the Volta delta and the Keta lagoon. This portion of the coast is made up of recent unconsolidated sand clay and gravel. The central plain is composed of red continental deposits limonitic sand, sandy clay and gravel.

3. Climate (see Fig. 3.7)

The climate of the Ghana coast is closely associated with the position of the Inter-tropical Convergence Zone (Walker 1962) which marks the meeting place of two air masses the monsoon (wet) from the south and the Harmattan (dry) from the north. In August it is in its most northerly position and in January its most southerly.

Rainfall: The whole coastal plain has 2 rainy seasons, the principal one reaching its maximum in May-June and the minor in October. The west has the highest rainfall in the country and the principal rainy season is well marked. The east has the lowest rainfall in the country.

Temperatures: Average maximum temperatures are highest in February and lowest in August.

Humidity: Relative Humidities reach 95-100% during the night and early morning but by mid-afternoon this falls to 75% in the south west and 65% in the south east. Periods of a few days with very low humidity may occur in December, January or February.

Winds: The south west monsoon is the prevailing wind and it is only on rare occasions that the I.T.C.Z. comes below the coast. Land and sea breezes have the greatest effect on the variation of surface wind. Speeds are generally low with minima in November and December, and maxima in August and September. Data from five synoptic coastal meteorological stations has been presented in Table 3.8.

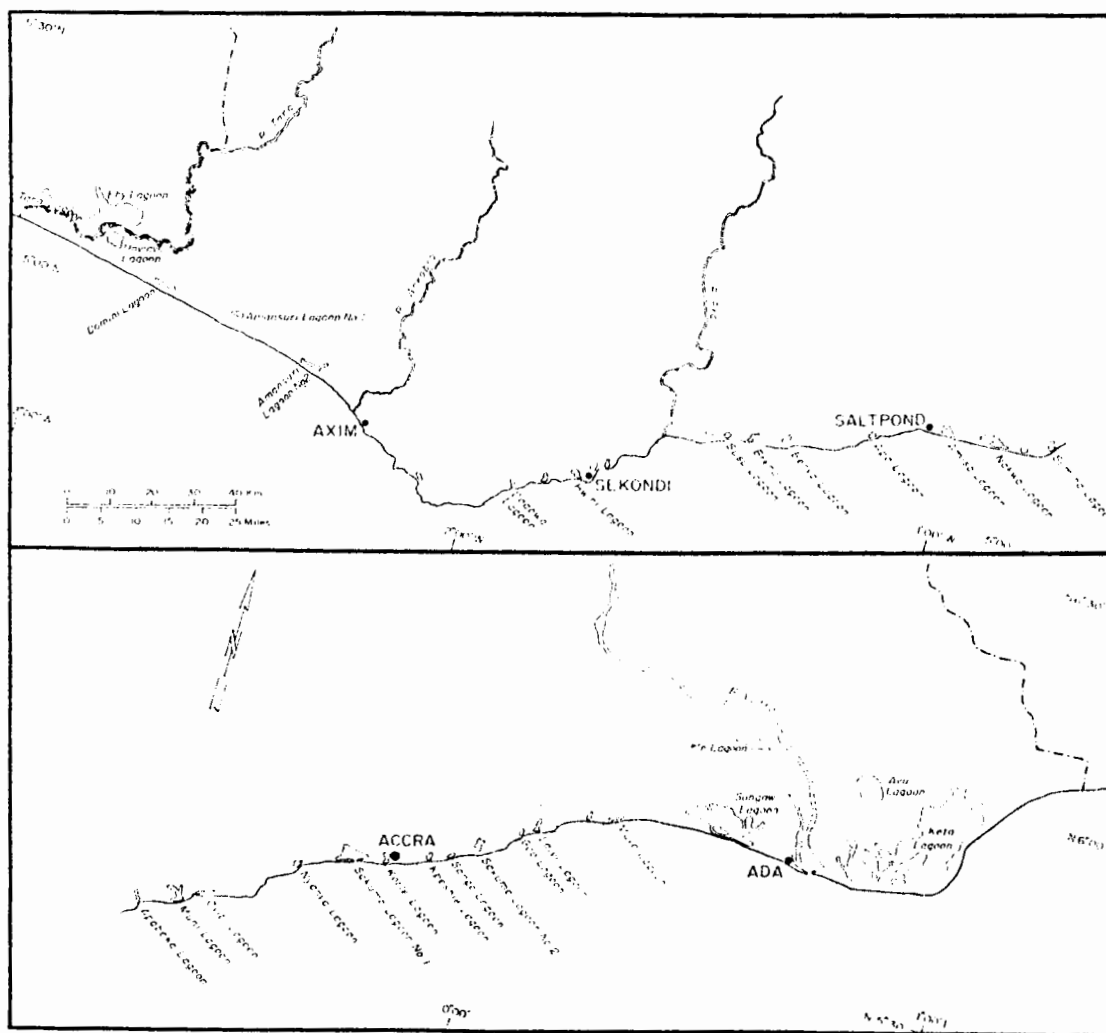


Figure 3.9 Coastal lagoons of Ghana

Table 3.6 Physical characters of the major lagoons (from Biney 1982,1984)

LAGOON TYPE	SURFACE AREA (km ²)	MEAN DEPTH (m)	MAX. DEPTH (m)	TEMPERA- TURE (°C)	pH	CONDUCT- TIVITY 10 ⁻³ S. cm ⁻¹	SALINITY	SECCHI depth (cm)
KETA	Closed	250.0	0.80	2.0	32.5	8.1	31.2	35.0
ANGAW	"	50.0	1.75	4.0	29.5	7.2	4.1	85.3
LAIWI	"	0.7	0.70	2.5	28.8	8.1	22.3	48.0
GAO	"	1.1	0.71	2.0	29.6	8.1	21.0	70.0
CHEMU	"	0.2	0.48	0.8	36.3	8.2	29.1	27.8
SAKUMO II	"	3.5	0.55	1.0	29.5	8.0	3.3	14.0
KPESHIE	"	1.8	----	---	29.4	8.0	36.2	35.0
KORLE	Open	2.7	0.45	1.0	25.3	7.0	54.8	24.7
SAKUMO I	"	20.0	0.90	3.0	25.2	7.1	22.4	9.1
OYIBI	"	1.5	----	---	28.1	7.0	1.93	19.0
MUNI	"	4.5	0.60	1.0	28.3	7.0	65.3	76.0
MAKWA	"	8.0	0.75	2.0	28.5	7.6	53.8	56.0
AMISA	"	3.0	0.50	1.5	30.1	7.0	18.5	22.0
FOSU	Closed	2.5	0.55	1.5	28.1	7.3	14.5	23.0
BENYA	Open	4.5	----	---	27.5	7.4	63.8	100.0

Table 3.7 Chemical characters of the major lagoons (from Biney 1982,1984)

	Na meq/l	K meq/l	Ca meq/l	Mg meq/l	Cl meq/l	HCO ₃ meq/l	SO ₄ meq/l	PO ₄ -P 10 ⁻⁶ g/l	NO ₃ -N 10 ⁻⁶ g/l
KETA	271.4	8.9	19.4	11.8	291.5	2.0	21.6	20	1700
ANGAW	37.4	1.0	1.9	1.1	34.9	1.1	3.1	10	6300
LAIWI	195.2	8.5	9.8	9.6	212.9	2.3	13.8	10	2700
GAO	184.1	8.3	7.7	9.5	188.7	1.3	11.9	40	8600
CHEMU	250.2	9.8	16.2	15.0	279.7	2.8	18.5	600	3000
SAKUMO II	27.1	1.5	2.8	1.6	29.3	2.1	3.1	90	1800
KPESHIE	315.2	11.8	18.3	16.4	353.8	2.3	17.8	110	3400
KORLE	435.6	12.5	16.7	83.6	505.6	3.7	29.7	860	3000
SAKUMO I	187.6	1.1	6.9	28.1	203.7	0.1	23.5	30	4800
OYIBI	14.8	0.7	1.4	2.4	16.6	1.7	1.3	80	2000
MUNI	527.2	13.7	21.1	91.2	611.8	2.2	27.7	70	300
NAKWA	422.3	12.0	18.1	86.0	491.5	2.0	25.1	70	300
AMISA	152.5	4.3	5.2	22.6	176.6	1.2	10.3	30	600
FOSU	126.1	4.3	5.7	8.6	135.8	3.2	8.8	70	200
BENYA	509.7	15.1	20.3	92.6	591.5	2.1	52.4	20	0

Table 3.8 Meteorological data for coastal stations in Ghana

	AXIM	SEKONDI	SALTPOND	ACCRA	ADA
<u>Insolation</u>					
mean hours/y	2556	2235	2374	2410	2235
month of max.	Nov	Oct	Nov	Nov	March
month of min.	June	Aug	Aug	Aug	Aug
mean daily					
cloud cover %	73	62	57	67	59
<u>Wind speed</u> annual					
mean km/hr	6.5	4.7	5.4	10.4	10.1
month of max.	Aug	Aug	Aug	Aug	Aug
direction	sw	sw	sw	sw	sw
<u>Rainfall</u> mean annual					
total mm	2129	1186	1106	732	1032
month of max.	Jan (51.3)	Jan (32.8)	Jan (12.5)	Jan (15)	Jan (75)
month of min.	June (535.2)	June (280)	June (358)	June (190.3)	June (393)
<u>Evaporation</u> annual					
Potential mm	1632	1830	1550	2058	1953
<u>Air temperature</u>					
annual mean °C	26.3	26.2	26.5	26.8	28.0
month of max.	Feb	April	Feb	Feb	Feb
(daily range)	21-33.3	21.6-32.7	21.3-33.4	21.3-33.9	22.4-34.4
month of min.	Aug	Sept	Aug	Aug	Aug
(daily range)	21-27.6	20.3-29.4	20.5-28.2	20.6-29.9	21.5-30.2

THE AMANSURI WETLANDS

1. Geography and morphology

The blackwater Amansuri lagoon and its surrounding wetlands are situated on the western coast of Ghana, 50 km from the border with the Ivory Coast, (Lat 5°00'N, long 2°35'W) (fig. 3.9). The land is very flat, most of the drainage basin being below 50 m. A line of sand dunes along the coast makes drainage difficult. The coastal plain extends 5-10 km inland where there are undulating hills reaching 200 m high. The total area of the catchment basin is 1010 km² and the area of the wetlands is 75 km² with 2.6 km² (5%) open water. The wetlands are detritic in shape with no islands, its maximum dimensions are 18 km E-W and 10 km N-S. Most of the wetlands dry up in the dry season (Nov.-Mar.) with only the area of open water still flooded. The mean depth of the open water is 2.8 m and of the swamp 0.5 m, maximum depth measured was 5 m.

2. Climate and geology

The Amansuri basin is characterised by high rainfall in two main wet seasons and a uniformly high temperature. This climate is classified as equatorial monsoon and owes its rains to low pressure areas over the Sahara attracting southwest winds from below the equator. The climate is similar to that of Axim (Table 3.8). The rocks of the area

are Apollonian and are obscured by a cover of Pleistocene to Recent sand and gravel (Junner 1940). Patches of podsollic sand are found underneath the swamp over the coast (Ahn 1961).

3. Hydrography and hydrology

The swamp is exorheic, the main outflow being the Amansuri rivers, the main inflows are the Adenimunio Evini, Bosoke and Eivla rivers. In the dry season water levels drop by 1-2 m and the whole system effectively becomes stagnant.

4. Physico-chemical characters of the water

(Sampling time 17.5.82, 10.00 am)

	Sedge zone	Open water = 1 m
Temperature °C	28	29
Transparency m	1.10	0.9
pH	6.95	5.85
Conductivity 10^{-6}S.cm^{-1}	230	130
Salinity ‰	0.07	0.05
Alkalinity meq/l	0.36	0.28
Na mg/l	17.0	8
K "	2.0	5
Ca "	1.6	2.4
Mg "	3.0	2.4
Cl "	21.5	36.9
SO ₄ "	20.3	14.2
N-NO ₃ "	0.2	0.02
P-PO ₄ "	0.01	0.01
O ₂ "	6.0	7.0

Normally the water column in the body of the open water is mixed by daily land and sea breezes, but stratification can develop within hours in calm weather. Insufficient baseline data is available to comment on the nutrient budget of the area.

5. Flora and fauna

GROUP	DOMINANT SPECIES	COMMENT
Macrophytes sedge zone	<u>Rhynchospora wallichiana</u> <u>Fuirena umbellata</u>	sedges found in up to 0.5 m water
Nymphaea zone	<u>Nymphaea lotus</u> , <u>N. maculata</u> <u>Nymphoides indica</u> , <u>Cyrtosperma senegalense</u>	found in up to 1.5 m water
Raphia zone	<u>Raphia hookeri</u> , <u>R. vinifera</u> , <u>Vossia cuspidata</u>	found in up to 3.0 m water
Phytoplankton	<u>Scenedesmus quadricauda</u> <u>Melosira granulata</u>	

Invertebrates	<u>Povilla adjusta</u> <u>Chironomus transvaalensis</u>
Fish	<u>Chrysichthys velliifer</u> <u>Hemichromis fasciatus</u> <u>Tilapia aurea</u>
Other vertebrates (Birds)	<u>Anhinga rufa</u> <u>Porphyrio alba</u> , <u>Bubulcus ibis</u>

6. Human activities and management

There are four towns of between 1000-5000 pop; most villages are much smaller. The density in the whole drainage area is below 50 persons/km². Villages are sited on the periphery of the swamp or on the coast. Development is poor, only one road, closed in the rainy season, cuts through the basin. Coconut plantations cover most of the arable land and the small scale production of coconut oil is the major industry. Most fishing is carried out by inhabitants of a lake village (pop. 500) built on wooden piles within the swamp. Methods used include nets, traps, lines and an indigenous poison. The Raphia palms are tapped and the sap drunk fresh as palm wine or distilled into gin. Hunting for food is carried out by the local population. Tourism is limited by the inaccessibility of the area. No disease or pest control programs are in operation; local taboos provide a form of protective legislation controlling the disposal of waste, building sites and fishing methods.

3.1.c. LES LAGUNES DU TOGO : LE SYSTEME LAGUNAIRE DU LAC TOGO (Fig. 3.10) par Bertrand MILLET

1. Géologie

Les lagunes togolaises se situent dans une dépression littorale du bassin sédimentaire côtier du Togo inondée lors de la dernière transgression marine (nouakchottien du Sénégal).

Formations détritiques sableuses du cordon littoral sur la rive sud; formations ferrallitiques du Continental Terminal à l'affleurement sur la rive nord.

Bassin versant constitué à 80% de sols issus de l'altération du socle cristallin (gneiss, migmatite, quartzite, amphibolite) dans sa partie amont; et des formations sablo-argileuses du Continental Terminal, dans sa partie aval. Exploitation à ciel ouvert des mines de phosphate du Togo à 6 km en amont du Lac Togo (Lenoir, com. pers.).

Sédimentologie lagunaire: sédiment de faciès sablo-vaseux très fin, très épais, avec bancs de sable à proximité des rives et formations de beach-rocks à proximité du cordon littoral.

La matière organique varie entre 3 et 4% du poids sec.

Granulométrie: la proportion d'argile (0 à 2.10⁻⁶m), atteint 47% du sédiment sec en aval du système, et la proportion en sable grossier (200 à 2000.10⁻⁶m) atteint 34% du sédiment sec en amont.

2. Climat (cf. fig. 3.7)

De type Aw_{6a}

Climat équatorial de transition à tendance sèche avec dédoublement de la saison humide: grande saison sèche: novembre à avril; grande saison humide: mai - juin; petite saison sèche: juillet - août; petite saison humide: septembre - octobre.

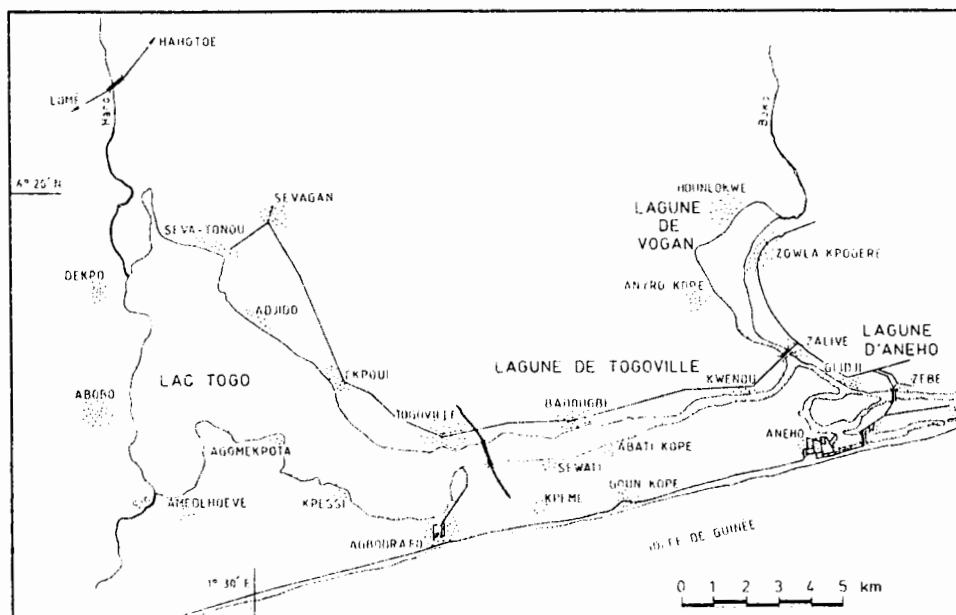


Figure 3.10 Système lagunaire du Togo: carte de situation générale.

Insolation: valeurs extrêmes: 226 h.mois⁻¹ en octobre 1981
(1981 - 1983) 88 h.mois⁻¹ en juin 1982

Légère nébulosité permanente accentuée de juin à septembre.

Vent: brise de mer diurne de secteur SW soufflant de 9 h à 16 h avec maximum vers 13 h. Vitesse de l'ordre de 3 à 4 m.s⁻¹. Harmattan de secteur nord sensible début janvier.

Précipitation (d'après Atlas Togo-PNUD 1982):

- Sur le plan d'eau lagunaire: 600 mm par an en année décennale sèche
1200 mm par an en année décennale humide
850 mm par an en année normale homogénéisée sur 49 ans.

- En tête de bassin versant: 1100 mm par an en année décennale sèche
1700 mm par an en année décennale humide
1300 mm par an en année normale homogénéisée.

Précipitations maximales en juin; minimales en janvier.

- Précipitations déficitaires par rapport au Ghana et au Bénin voisins: anomalie climatique locale (présence d'une savane arborée à baobabs sur le littoral).

- Régime pluviométrique à très grande variabilité interannuelle.

Evaporation (Millet 1983, 1984)

- Application de la formule de Penman sur la période: juin 1981 - décembre 1983.
- Valeurs extrêmes de l'évaporation à la surface du plan d'eau lagunaire (Ep): 3,4 mm/jour à la mi-juin 1982
5,6 mm/jour à la mi-octobre 1981
- Valeurs extrêmes de l'évapotranspiration potentielle (ETP): 87 mm/mois en juin 1982 ; 138 mm/mois en mars 1982.

Température de l'air: Valeurs extrêmes mesurées sous abri en moyenne décadaire: 24°C et 29°C, avec le maximum en mars et le minimum en juillet. Impact de l'Harmattan important en janvier.

3. Géomorphologie (fig. 3.10)

Localisation: 6°1'N, 1°2'E.

Altitude: très voisine de 0 en fonction du régime hydrologique.

Superficie totale du plan d'eau: 64 km² à l'étiage.

Bassin versant de 7200 km² comprenant: le bassin du Haho au nord (3400 km²); le bassin du Sio à l'ouest (2800 km²); le bassin du Boko à l'est (1000 km²).

Système lagunaire comprenant: le lac Togo (46 km² à l'étiage), orienté NW-SE, de 13 km de long et de 6 km de large; le chenal de Togoville est-ouest, de 13 km de long et de 900 m de plus grande largeur; les chenaux d'Aneho à l'est, de 150 m de large; la lagune de Vogan au nord-est de 7 km de long et 1,5 km de large.

Communication permanente avec le système lagunaire du Bas-Mono au Bénin, par l'intermédiaire du chenal du Gbaga à l'est. Communication artificielle et temporaire avec la mer par l'ouverture du cordon littoral à Aneho tous les 2 ou 3 ans. Profondeur moyenne au minimum d'étiage: 1 m. Cote moyenne du fond du lac Togo: - 0.622 m IGN (Nivellement Général du Togo).

Pentes de ligne d'eau très faibles sur l'ensemble des plans d'eau lagunaires, comprise entre $1,5 \cdot 10^{-5}$ en janvier 1961 à l'étiage minimum et $6,9 \cdot 10^{-5}$ en octobre 1968 en période d'écoulement maximum.

4. Hydrologie (Millet 1983, 1984)

Le marnage annuel maximum probable du plan d'eau lagunaire à l'issue des 24 dernières années d'observation (1960-1983) est de 3,05 m, ce qui est considérable pour ce type de milieu; le marnage annuel maximum observé effectivement est de 2.78 m en 1968. Très grande variabilité interannuelle.

Régime des principaux tributaires (Atlas Togo-PNUD 1982):

Le Sio: 176 km de longueur. Ecoulement pérenne.
Débit moyen interannuel à l'embouchure:
26,3 m³.s⁻¹ en année décennale humide.
3,9 m³.s⁻¹ en année décennale sèche.
9,9 m³.s⁻¹ en année médiane.
crue décennale estimée à 201 m³.s⁻¹.

Le Haho: bassin plus aride. Ecoulement intermittent.
 30 jours d'interruption en année décennale humide.
 130 jours d'interruption en année décennale sèche.
 Débit moyen interannuel à l'embouchure:
 16,6 m³.s⁻¹ en année décennale humide
 2,1 m³.s⁻¹ en année décennale sèche
 5,8 m³.s⁻¹ en année médiane.
 crue décennale estimée à 93 m³.s⁻¹.

Volumétrie: volumes extrêmes du lac Togo proprement dit (élargissement ouest du système, cf. fig. 3.10). 175.10⁶m³ en juillet 1968; 34.10⁶m³ en avril 1983.

Bilan hydrologique: (limité au plan d'eau du lac Togo)

$V_p - V_e + V_r - V_s = V_d$

avec: V_p : vol. mensuel précipité sur le lac (10⁶m³).

V_e : vol. mensuel évaporé sur le lac (10⁶m³).

V_r : vol. mensuel écoulé dans les tributaires (10⁶m³)

V_s : vol. mensuel stocké dans le lac Togo (10⁶m³)

V_d : vol. mensuel des pertes par infiltration et par écoulement à l'aval de Togoville (10⁶m³).

Le tableau suivant regroupe ces différents termes du bilan hydrologique du lac Togo, de juin 1981 à décembre 1983.

	Date	Vp	Ve	Vr	Vs	Vd
1981	J	-	-	27	6.47	-
	J	2.35	5.6	81.2	13.9	64
	A	1.99	6.06	48.2	9.24	34.9
	S	5.59	7.03	132	26.8	104
	O	5.54	7.92	66.9	- 12.9	77.4
	N	1.00	6.61	15.1	- 22.2	31.7
	D	0.00	7.13	3.23	- 19.4	15.5
1982	J	0.52	7.19	3.17	- 3.23	- 0.27
	F	0.44	6.61	1.43	- 2.31	- 2.43
	M	2.48	7.82	2.98	3.23	- 5.59
	A	5.11	6.97	2.59	- 0.92	1.65
	M	10.5	6.73	9.98	8.78	4.97
	J	20.7	4.97	31	37.4	9.33
	J	4.37	5.84	146	19.4	125
	A	0.46	5.51	8.48	- 39.3	42.7
	S	0.64	6.33	8.98	- 14.3	17.6
	O	1.78	7.62	5.52	- 6.47	6.15
	N	0.062	7.4	1.46	- 4.16	- 1.16
	D	0.042	6.97	0.035	- 1.85	- 5.04
1983	J	0.00	5.83	0.036	- 0.92	- 4.87
	F	0.37	5.92	0.017	- 7.95	2.32
	M	0.37	7.63	0.006	- 6.93	- 0.32
	A	2.15	8.55	3.27	0.92	- 4.05
	M	3.98	7.37	1.11	5.54	- 7.82
	J	6.28	5.36	5.4	36.3	- 30
	J	3.11	6.03	1.39	21.7	- 23.2
	A	0.34	5.94	0.59	3.7	- 8.7
	S	1.1	5.28	2.87	6.47	- 7.78
	O	0.48	6.79	6.78	- 36.3	36.8
	N	1.0	7.01	1.6	- 18	13.6
	D	0.55	6.2	11.4	- 5.54	11.3

On notera l'existence d'un écoulement inverse d'étiage remontant d'aval vers l'amont (signe négatif), et entraînant dans les lagunes togolaises des eaux marines en provenance des lagunes béninoises (Bas-Mono), en période de fermeture du cordon littoral au Togo (1981-1983).

5. Caractéristiques physico-chimiques (Millet 1983, 1984)

Température: milieu fortement oligomictique; l'écart des températures de surface et de fond restant inférieur à 1.5°C, l'amplitude journalière des températures de surface est de l'ordre de 1,5°C. Les valeurs extrêmes saisonnières de la température moyenne de surface des eaux lagunaires sont:

23°C en saison de crue (juin-juillet 1982)

34,8°C à l'étiage minimum (mars 1982)

Influence nette des précipitations et de l'Harmattan.

Transparence: (Secchi 0,30 m de diamètre). Généralement homogène sur l'ensemble du plan d'eau, diminue jusqu'à des valeurs très faibles (inférieures à 0,25 m), en période de crue et remonte à l'étiage, devenant totale au mois d'avril (supérieure à 1,2 m).

pH: ne présente que de très légères variations spatiales et saisonnières en fonction du régime hydrologique. Valeurs extrêmes de 6,75 en amont lors de la reprise de l'écoulement des tributaires et de 8,21 en zone aval à l'étiage.

Conductivité / salinité des eaux: Très grandes variations spatiales et saisonnières en fonction du régime hydrologique, et du système d'ouverture du système sur la mer (variable). Valeurs extrêmes de la salinité des eaux:

Zone amont (nord du lac Togo):

min.: $X = 500 \cdot 10^{-6} \text{S.cm}^{-1}$ à 25°C en fin de période de crue

$S = 0.25\%$

max.: $X = 1400 \cdot 10^{-6} \text{S.cm}^{-1}$ à 25°C au minimum d'étiage

$S = 8.1\%$

Zone aval (chenaux d'Aneho):

min.: $X = 3000 \cdot 10^{-6} \text{S.cm}^{-1}$ à 25°C en fin de période de crue.

$S = 1.6\%$

max.: $X = 30\,000 \cdot 10^{-6} \text{S.cm}^{-1}$ à 25°C au minimum d'étiage

$S = 18.6\%$

Milieu mixo-halin très diversifié. La zone aval du système présente un milieu polytypique devenant méso-halin à chaque période d'étiage indépendamment de l'ouverture sur la mer à Aneho. La zone amont présente un milieu oligo-mixohalin.

Orthophosphate: en période de crue (juillet 1981). de l'ordre de 0.2 mg.l⁻¹ en zone aval et de 0.3 mg.l⁻¹ en zone amont.

Oxygène dissous: variation diurne très importante.

milieu calme: variation de 76 à 91% sat. en surface

milieu agité: variation de 78 à 93% sat. en surface.

Ions majeurs: Eau de type chlorurée sodique à forte teneur magnésienne. Gradient des teneurs croissant d'amont vers l'aval du système.

Tableau des valeurs extrêmes:

	Min. (zone amont / crue) (mg.l ⁻¹)	Max. (zone aval / étiage) (mg.l ⁻¹)
sodium	14	6 000
potassium	2.3	280
calcium	11	220
magnésium	9	900
chlorure	940	10 500
alcalinité (TAC)	50	115

Azote: en période de hautes eaux (juillet-septembre 1981)

Nitrate: 11 mg.l⁻¹; ammonium: 0,55 mg.l⁻¹; nitrite: 66.10⁻⁶g.l⁻¹.

6. Macrophytes

Prairies à Paspalum vaginatum; quelques fougères Acrostichum aureum; Pistia en période de crue seulement; absence totale de mangrove.

7. Invertébrés

Populations dominées très largement par:

Mollusques: Tympanotonus sp., Pachymelania sp.

Crustacés: Callinectes latimanus, Panaeus duorarum (mais à l'étiage seulement)

8. Poissons

Population dominée par les genres Tilapia et Chrysichthys.

9. Activités humaines

Faible concentration humaine et activité de type villageois très partagée entre la culture vivrière extensive (mil, maïs, manioc) et la pratique souvent à temps partiel d'une pêche artisanale individuelle en lagune (à l'épervier, au filet maillant et à la ligne malienne principalement). Absence de pratique de pêche collective (senne) et d'exploitation d'acadja.

Quelques activités touristiques dans le sud du lac Togo, mais très limitées localement.

Milieu de très faible superficie, assez représentatif des lagunes du golfe de Guinée, mais à toute petite échelle (relative facilité d'étude). Mise en évidence d'un régime hydrologique particulièrement contrasté et en relation étroite, ce qui est très important, avec les lagunes du Bas-Mono au Bénin, dont les lagunes togolaises ne constituent qu'un diverticule de plus en plus confiné, en période de déficit pluviométrique.

**3.1.d. LE COMPLEXE LAGUNAIRE DU LAC NOKOUÉ ET DE LA LAGUNE DE PORTO-NOVO
(BENIN)**

par Bernard COLLEUIL & Hervé TEXIER

1. Géographie et morphologie

Situation: Sud-est de la République Populaire du Bénin. Le lac Nokoué et la lagune de Porto-Novo sont compris entre les parallèles 6°25' et 6°30'N et les méridiens 2°20' et 2°40'E.

Surface (à l'étiage): Lac Nokoué: 160 km², lagune de Porto-Novo : 20 km².

Paysage: le lac Nokoué est relié directement à l'océan Atlantique par le chenal de Cotonou. Les relations avec l'océan peuvent cependant être interrompues par la formation plus ou moins saisonnière d'une flèche sableuse. Il est alimenté en eau douce par les fleuves Ouémé et So et par les pluies et le ruissellement. Le chenal de Totché le relie à la lagune de Porto-Novo qui se prolonge à l'Ouest par la Badagry-Creek dont le tracé se poursuit sur plus de 100 km jusqu'à Lagos. Le delta de l'Ouémé sépare les deux lagunes.

En période de crue (septembre - octobre), les basses plaines sont submergées à l'exception de quelques bourrelets de berges où sont installés les villages sur pilotis.

Morphométrie: le lac Nokoué a un fond légèrement ondulé subdivisé en trois bassins: Ouest, Central et Est séparés par deux rides de direction Nord-Sud (fig. 3.11).

Les profondeurs sont comprises entre 0,5 et 1,5 m à l'étiage. Dans les cuvettes, la tranche d'eau n'excède pas 3 m. Les plus grandes profondeurs s'observent dans les chenaux où elles peuvent dépasser 10 m (Chenal de Cotonou).

Dans la majeure partie de la lagune de Porto-Novo, les profondeurs sont comprises entre 0,7 m et 1,10 m. Un chenal longe la rive NE de la lagune.

2. Géologie

a. Géologie générale

Le lac Nokoué et la lagune de Porto-Novo constituent un grand ensemble lagunaire situé au noeud de trois structures géologiques et géomorphologiques qui sont:

- Les plateaux sub-horizontaux du Continental Terminal à l'est et à l'ouest,
- L'échancrure du bassin inférieur de l'Ouémé-So, longue de 90 km pour 20 km de large dans sa partie la plus méridionale,
- Les cordons littoraux Ogolien et Holocène au sud.

b. Sédimentologie (fig. 3.12)

Lithofaciès sablo-argileux subdivisé en sables (20%), vases (14%) et faciès intermédiaires (66%). La dimension moyenne du sédiment est de 150.10^{-6} dans le lac Nokoué pour 250.10^{-6} dans la lagune de Porto-Novo. La matière organique d'origine végétale peut représenter jusqu'à 20% du sédiment dans la partie occidentale du lac Nokoué.

Les argiles sont principalement représentées par les smectites et la kaolinite.

c. Paléolimnologie

Transgression Inchirienne: développement de falaises dans le "Continental Terminal".

Régression Ogolienne: climat sec jusqu'à 23 000 ans BP, formation de glacis au pied des falaises. Climat humide de 23 000 à 11 000 BP : creusement de vallées profondes.

Transgression Nouakchottienne: création d'un vaste système de rias dans le réseau hydrographique préexistant. L'importante dérive littorale qui isole les rias de la mer est à l'origine des lagunes actuelles.

L'époque récente est marquée par une légère régression.

3. Climat

Type: Aw₆ (Cotonou)

4 saisons principales: saison sèche (novembre à mi-mars), saison pluvieuse (mi-mars à août), saison sèche (août à mi-septembre), saison pluvieuse (mi-septembre à octobre).

Insolation: Moyenne annuelle: 2300 h.année⁻¹. Maximum en février (env. 210 h), minimum en juillet (env. 130 h).

Vents: Vents de secteur SW, vitesse moyenne annuelle 3,5 m.s⁻¹ sauf Harmattan (décembre-janvier) de secteur N. Vitesse moyenne annuelle: 3,5 m.s⁻¹. Prédominance des vents de SW toute l'année à l'exception de décembre et janvier où souffle l'Harmattan de secteur N.

Pluviométrie (fig. 3.7): Moyenne annuelle (Cotonou, 1977): 106,8 mm (écart type: 93 mm). Maximum en juin (341,8 mm), minimum en décembre (18,6 mm).

Evaporation: Après un maximum en février-mars de l'ordre de 4 à 5 mm/jour, l'évaporation décroît jusqu'en juin-juillet (2 à 3 mm/jour) puis atteint un second maximum en octobre-novembre et redécroît ensuite.

La hauteur annuelle évaporée sur le bassin inférieur de l'Ouémé est estimée entre 1400 et 1500 mm.

Température de l'air: Moyenne annuelle maximum (Cotonou, 1977): 29,6°C (écart type: 1,5°C). Moyenne annuelle minimum (Cotonou, 1977): 22,24°C (écart type: 5,7°C). Moyenne et écarts types homogénéisés sur 37 ans (fig. 3.7).

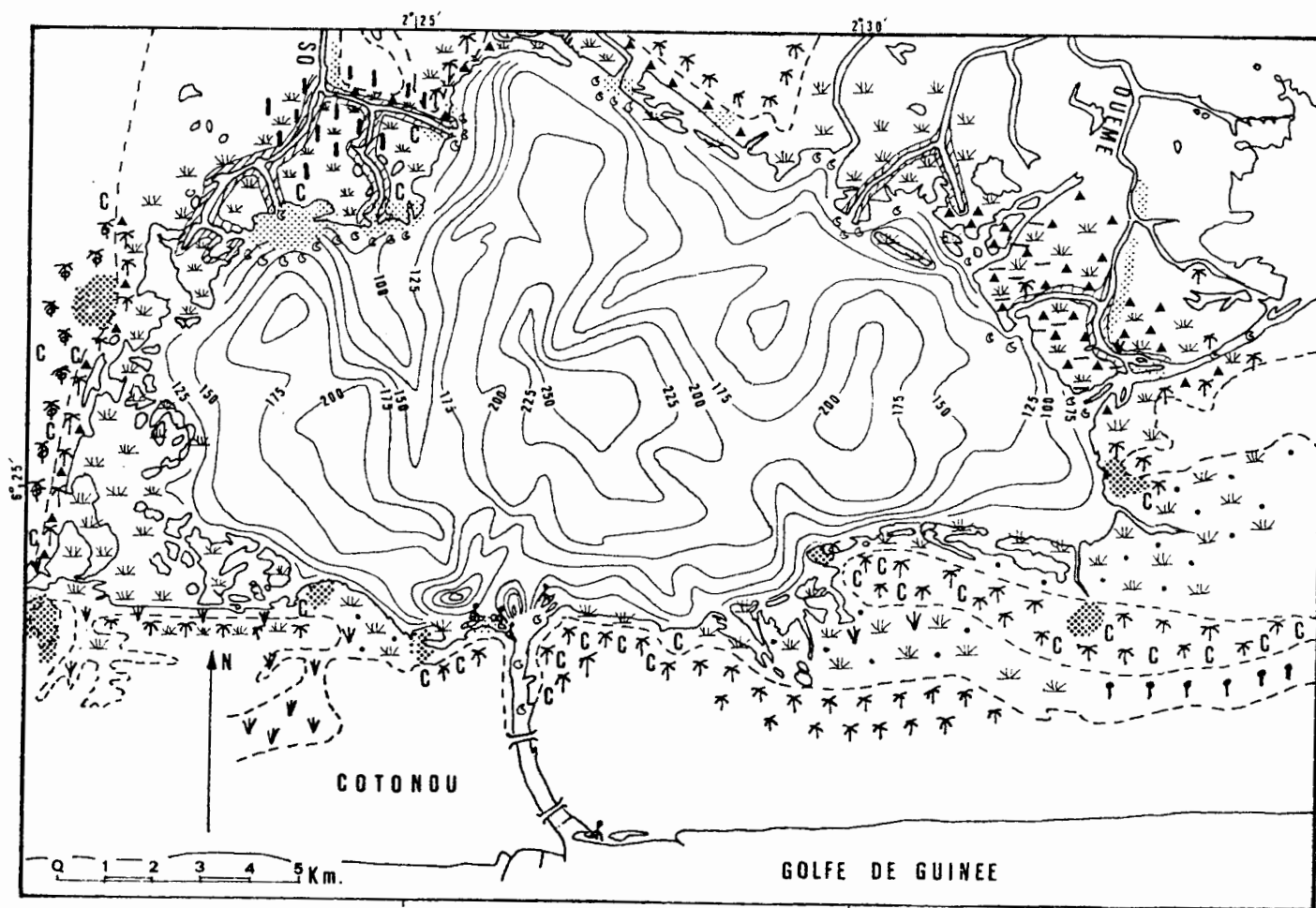


Fig. 3.11 Lac Nokoué: carte de la végétation

LÉGENDE (Figure 3.11)



Village



Village lacustre



Limite schématique des zones périodiquement inondées.

Bathymétrie



Equidistance des isobathes = 25 cm - Niveau du Lac Nokoué : 0 (I.G.N.) + 70 cm

Zones périodiquement inondées

Végétation d'eau douce à *Aspilia africana* (Compositae),
Ipomoea aquatica (Convolvulaceae), *Nymphaea lotus*
(Nymphaeaceae) en période de cruePrairies basses à *Paspalum vaginatum* (Gramineae)*Echinochloa pyramidalis*, *Vetiveria nigritana* et *Phragmites australis* (Gramineae)*Typha australis* (Typhaceae)*Vossia cuspidata* (Gramineae) *Sesbania pubescens*
(Papilionaceae)Mangroves à *Rhizophora racemosa* (Rhizophoraceae)
et *Avicennia germinans* (Avicenniaceae) ou à *A. germinans* seulFourrés d'*Acrostichum aureum* (Pteridophytes)Forêts marécageuses dégradées à *Raphia*Zones d'accumulation de *Pistia stratiotes* (Araceae) en
période de crue

Zones non inondables

Végétation des bras de la So à *Mariscus ligularis*, *Andropogon gayanus* (Gramineae), *Hyptis lanceolata* (Labiatae)

cultures et plantations villageoises

*Cocos nucifera* (Palmeae)*Elaeis guineensis* (Palmeae)

Humidité relative (Cotonou): Moyenne annuelle des minima: 69%,
moyenne annuelle des maxima: 75%.

4. Hydrographie et hydrologie

Le volume moyen du lac Nokoué est d'environ $250.10^6 m^3$, il résulte de l'équilibre entre les apports d'eau douce continentale ou d'eau marine, les déversements dans l'océan à Cotonou et Lagos et l'évaporation.

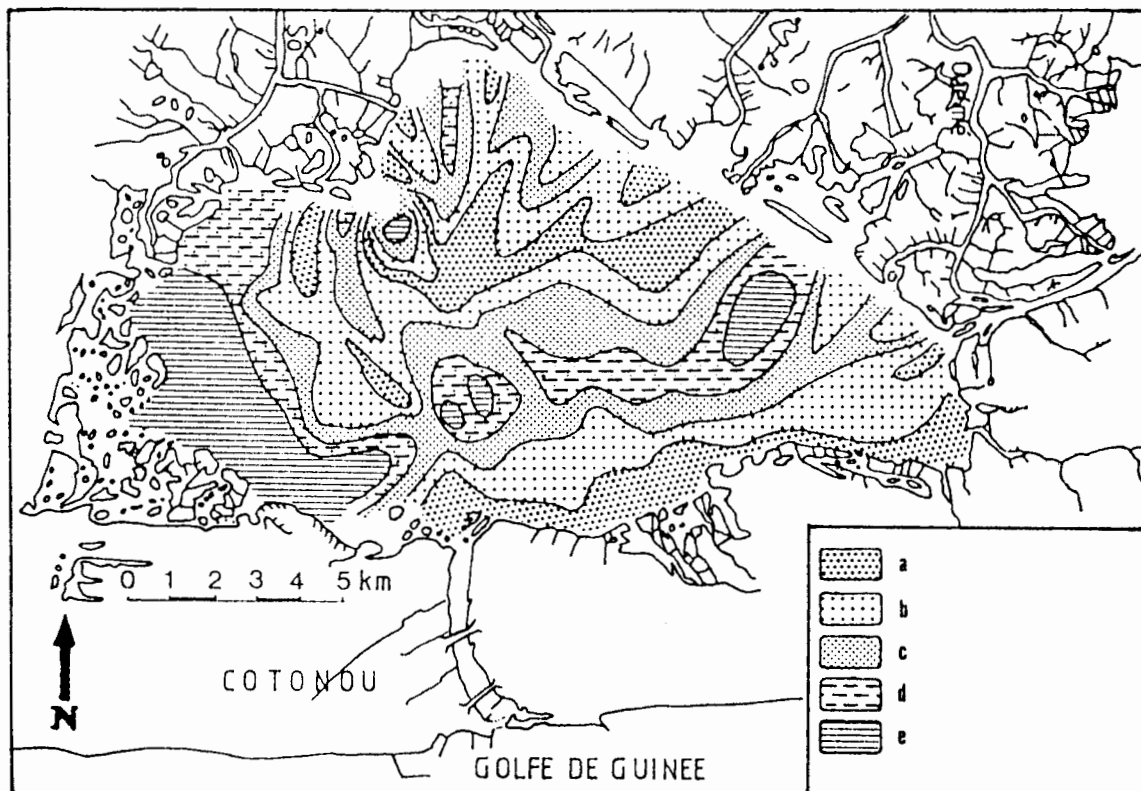


Fig. 3 12 Carte des lithofaciès : teneur en sable.

- a - Sables ($\phi > 63 \mu m$) $> 90 \%$
- b - Sables vaseux $90 \% > (\phi 63 \mu m) > 75 \%$
- c - Sables vaseux $75 \% > (\phi 63 \mu m) > 55 \%$
- d - Sables vaseux $55 \% > (\phi 63 \mu m) > 35 \%$
- e - Vases $35 \% > (\phi 63 \mu m)$

La crue est synchrone avec la saison des pluies de la région centrale du Bénin (fig. 3.7, Djougou) d'août à novembre. Pendant cette période, les eaux peuvent monter de 1 m et le volume du lac à la crue est alors de l'ordre de 330.10^6 m^3 . La pénétration de l'onde de marée n'est pas en phase dans les deux lagunes et le chenal de Totché subit périodiquement des courants d'une vitesse supérieure à 2 m.s^{-1} permettant un intense autodragage entre les deux plans d'eau.

5. Caractéristiques physico-chimiques

En raison de la faible épaisseur de la tranche d'eau, on note une absence de stratification des eaux de la lagune.

Température: Elle varie de $25,6^\circ\text{C}$ le matin à 32°C le soir.

Transparence: Elle croît d'est en ouest de 14 à 32% (à l'étiage). A la crue, la transparence diminue jusqu'à 3,1%.

pH: Les variations du pH sont surtout liées aux pluies sur le lac, mais les écarts restent faibles: pH 7,2 à 7,6; variations de 0,4 (fig. 3.13)

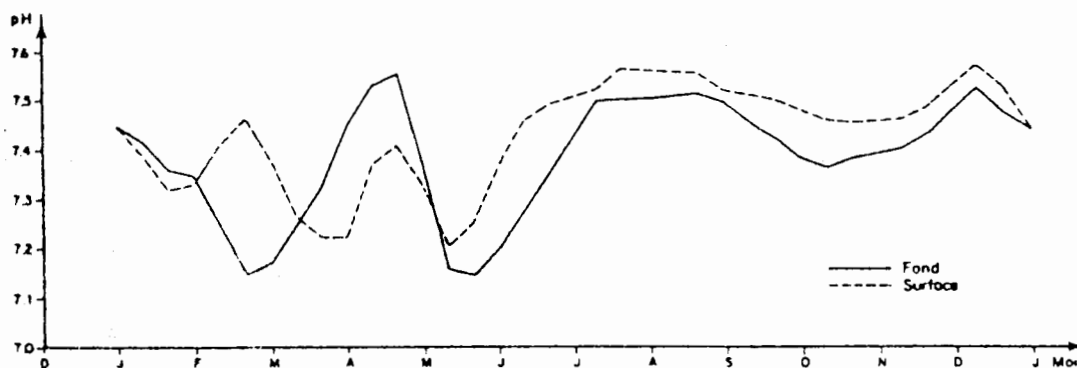


Figure 3.13 Moyenne de la variation temporelle du pH à la surface et au fond du Lac Nokoué

Caractéristiques chimiques: Les variations de salinité reflètent la complexité des échanges entre les lagunes et l'océan. Elles dépendent principalement de la fermeture ou de l'ouverture du chenal de Cotonou et de leur interaction avec les périodes de crue ou d'étiage. Voir tableau 3.9.

Tableau 3.9: Variation de la salinité (g.l^{-1}) en fonction des situations dans le lac Nokoué.

	CRUE	ETIAGE
Chenal fermé	4 g.l^{-1}	$6,6 \text{ g.l}^{-1}$
Chenal ouvert	$0,2 \text{ g.l}^{-1}$	$9,5 \text{ g.l}^{-1}$

Quelle que soit la situation considérée, des écarts importants existent d'est en ouest et du nord au sud (fig. 3.14).

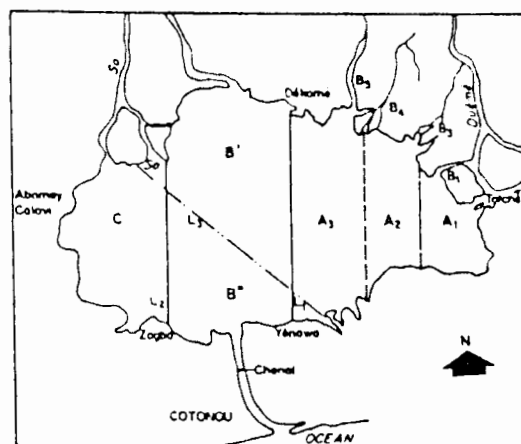


Figure 3.14 Zonation hydrologique du Lac Nokoué relativement à salinité (1978-1980).

6. Macrophytes (fig. 3.11)

- Le système lagunaire est essentiellement bordé d'une prairie basse à Paspalum vaginatum, Echinochloa pyramidalis, Vetiveria nigritana, Phragmites australis s'étendent en rideaux denses à la limite des zones inondables.
- Présence de Typha australis et de fourrés d'Acrostichum aureum où la salinité est la plus forte et l'adoucissement des eaux par la crue est la plus lente (berges SE du lac Nokoué).
- L'influence des apports d'eau douce est plus marquée sur les bords de la lagune de Porto-Novo que sur ceux du lac Nokoué.
- A la saison des pluies se développe une végétation flottante qui dérive sur les lagunes: Pistia stratiotes, Aspilia africana, Cyperus papyrus, Ipomoea spp., etc.
- Aux débouchés du chenal de Cotonou subsistent des vestiges d'une ancienne mangrove avec quelques témoins d'Acrostichum aureum et Avicennia germinans.

7. Phytoplancton

Chlorophycées, Cyanophycées, Bacillariophycées.

8. Invertébrés

a. Zooplancton: Foraminifères, Ostracodes, Copépodes.

Lagune de Porto-Novo: Jadammina polystoma (eaux dessalées), Ammonia beccarii et Neomonoceratina (eaux plus salées).

Lac Nokoué: Mêmes associations + Clithro cytheridea mais Acartia clausi est l'espèce dominante et ubiquiste.

Tableau 3.10: Salinités moyennes dans les diverses parties du Lac Nokoué - Mean salinities in Lake Nokoué.

Partie est A			Partie centrale B		Partie ouest C	
Crue November 1978	Eaux oligohalines (1‰)*	Eaux oligohalines (2‰)	Eaux oligohalines (4‰)	Eaux mesohalines (5‰)	Eaux mesohalines (6‰)	Eaux mesohalines (7‰)
Etiage Mars 1979	Eaux oligohalines (3‰)	Eaux mésohalines (5‰)	Eaux mésohalines (7‰)	Eaux mésohalines (8‰)	Eaux mésohalines (8‰)	Eaux mésohalines (8.5‰)
Crue Octobre 1979	Eaux douces	Eaux douces	Eaux douces	Eaux douces	Eaux douces	Eaux douces
Etiage Février- Mars 1980	Eaux mésohalines (7‰)	Eaux mésohalines (9‰)	Eaux mésohalines (12‰)	Eaux mésohalines (13‰)	mi-Janvier Eaux polyhalines (19‰)	mi-Mars Eaux polyhalines (19.5‰)

* Salinité moyenne de la zone considérée.

b. Faune benthique

Principaux mollusques: Corbula trigona, Anadara senilis, Crassostrea gasar et Pachymelania (faciès sableux), Tympanotonus (faciès d'herbiers).

Principaux crustacés: Penaeus duorarum, Macrobrachium et Callinectes latimanus, Goniopsys cruentata, Cardiosoma armatum, Clibernhardius africanus.

9. Vertébrés

a. Poissons: par ordre de fréquence:

- Avant la fermeture du chenal en 1978: Ethmalosa fimbriata, Sardinella eba, Tilapia melanopleura, T. zillii, Hemichromis fasciatus.

- Après la fermeture du chenal: Tilapia melanopleura, T. zillii, Hemichromis fasciatus, Ethmalosa fimbriata.

b. Autres vertébrés: Quelques reptiles comme les Agamides, Varanides, Pélomédusides, Pythonides et Elapides. Nombreux oiseaux ichtyophages tels que: Phalacrocorax, Ardeola, Egretta, Ceryle, etc. Peu de mammifères: Pteropidés, Sciuridés et Pteromuroïdés.

10. Activités humaines

La densité de population est grande autour du lac (Cotonou: env. 250 000 habitants) et la principale ressource de protéines provient des activités piscicoles originales du lac Nokoué (Akadjas). Les villages lacustres abritent les familles de pêcheurs (20 000 à 30 000 habitants). Le rendement des Akadjas varie de 5 à 12 t.ha⁻¹.an⁻¹ selon les années et les salinités.

Des industries polluantes sont installées sur le cordon littoral entre Cotonou et Porto-Novo où elles épuisent la lentille d'eau douce superficielle où les rejets liquides s'y infiltrent.

3.1.e. LAGUNES DU NIGERIA
par Philippe DUFOUR

1. Géographie et morphologie

Les lagunes de Lagos et de Lekki sont localisées au SW du Nigeria dans l'Etat de Lagos à la latitude moyenne de 6°30'N, entre les longitudes de 3°12'E et 4°38'E (fig. 3.15).

Lekki Lagoon: 247 km² (Ikusemiju and Olaniyan 1977) profondeur moyenne 3,1 m; maximale 6,4 m.

Lagos Lagoon: entre 500 et 600 km², (Surface approximative: aucune indication dans la littérature, ni carte à grande échelle permettant une planimétrie sérieuse.) peu profonde (quelques mètres, sauf le port de Lagos et le chenal d'accès à l'océan: environ 10 m).

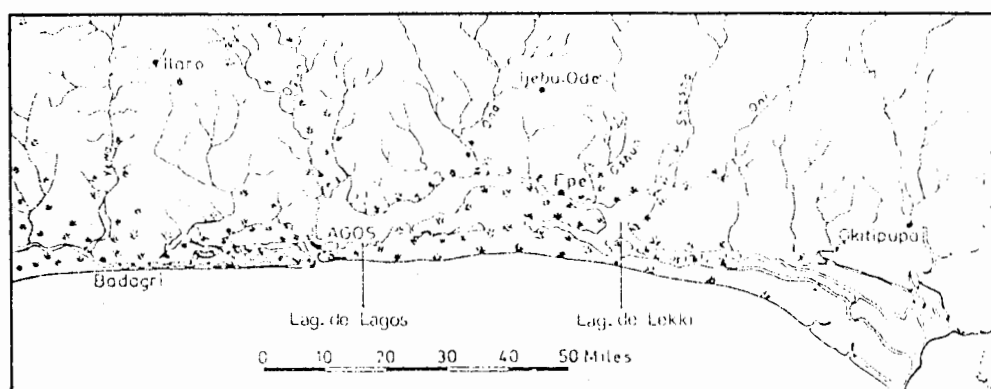


Figure 3.15 Les lagunes du sud-ouest du Nigeria.

Les deux lagunes communiquent entre elles par un étroit chenal: la lagune d'Epe, et avec la lagune de Porto-Novo à l'ouest par la Badagri-Creek (cf. fig. 3.15). La lagune de Lagos est en permanence ouverte sur l'océan par une passe dont l'ensablement est évité grâce à la construction entre 1901 et 1930 de 3 môles en pierre perpendiculaires au littoral océanique. Elle est composée d'un large bassin central, d'un chenal occupé par le port de Lagos et prolongé vers l'océan, et de part et d'autre, de baies et chenaux étroits parallèles à la côte.

Les deux lagunes sont séparées de l'océan par un cordon sableux de quelques centaines de mètres à 20 km d'épaisseur, qui dans ses parties les plus larges est composé de dunes de sables (moins de 5 m) parallèles au littoral alternant avec des dépressions marécageuses.

2. Géologie et climat

Géologie: Au niveau des lagunes le socle date de l'Eocène. Il est recouvert de sédiments plus récents. Plus au nord affluent l'Eocène puis le Paléocène.

Selon Webb (1958a) les lagunes du SW du Nigeria auraient été formées par l'extension progressive d'une flèche de sable depuis la dernière glaciation, cette flèche isolant progressivement un bras de mer. La vitesse d'avancée de la côte vers l'océan est estimée être de 1 m par millénaire.

Sédiments lagunaires: Dans la région d'estuaire de la lagune de Lagos les sédiments lagunaires sont constitués d'une alternance de sables d'origine marine et d'argiles et limons d'origine continentale; leurs dépôts sont liés à l'hydrodynamisme.

Climat: Aw₅a (cf. fig. 3.7). Quatre saisons: grande saison sèche (novembre à février), grande saison des pluies (mars à juin), petite saison sèche (juillet et août), petite saison des pluies (septembre et octobre).

Humidité relative de l'air moyenne: 98% à 6 h et 73% à midi.

3. Hydrographie et hydrologie

Surface du bassin versant: environ 60 000 km² (2/3 pour la lagune de Lagos) entre l'océan et 9° de latitude nord; altitude 0 à 100 m jusqu'à 7°N, 100 à 500 m jusqu'à 9°N.

La lagune de Lagos est alimentée par l'océan, par sa communication vers la lagune de Cotonou et 2 rivières: l'Ewa et l'Ogun. La lagune de Lekki est alimentée par sa communication avec la lagune de Lagos et 2 rivières: l'Oshun et l'Oni. Elle communique aussi à l'ouest avec le delta du Niger par de nombreux petits canaux envahis de macrophytes.

4. Caractéristiques physico-chimiques

La salinité est le paramètre déterminant l'écologie eu égard à ses grandes variations annuelles (jusqu'à 34 ‰) et quotidiennes (jusqu'à 20 ‰). Les autres paramètres lui sont liés. Dans le tableau suivant, on distingue les variations en saison sèche (jusqu'à mars) et humide (avril à mai), dans 4 zones (cf. fig. 3.7).

Tableau 3.11: Caractéristiques physiques et chimiques des eaux de surface de la lagune de Lagos.

		Lagune de Badagri	Chenal de Lagos	Bassin central	Lagune d'Epe
Salinité (‰)	saison sèche	0 à 5	15 à 30	0 à 10	0
	saison humide	5 à 10	<10	env. 0	0
Température (°C)	saison sèche	26 à 28.5° (max. à Lagos)			
	saison humide	28 à 31.5° (max. à Lagos)			
Transparence (m)	saison sèche		1 à 3		
	saison humide		0 à 1		
pH	saison sèche	7,5	8	7,5	7,0
	saison humide	7	7	7	7
NO ₂ N (ml/l)	saison sèche	3 à 5	3 à 5	4 à 6	3 à 5
	saison humide	1,5 à 3	3,5 à 4	4,5	3,5
PO ₄ (Lovibond units)	saison sèche	0 à 5	0 à 2	0 à 5	0 à 5
	saison humide	5 à 15	5 à 10	0 à 5	0 à 5
NO ₃ (mg/m ³)	saison sèche		<2,5		
	saison humide		<2,5		

La salinité de la lagune de Lekki oscille entre 0 et 0,5 ‰.

Régime de mélange:

Les marées océaniques sont de faibles amplitudes (inférieures dans

tous les cas à 1,2 m). Il en résulte que la zone intertidale est peu étendue. La circulation horizontale est faible en dehors du chenal de Lagos. La circulation verticale est faible en saison sèche, elle est plus accentuée en saison des crues. On observe une structure verticale de la salinité en saison humide dans le port de Lagos, plus accentuée à marée haute.

5. Macrophytes

La mangrove à Rhizophora et Avicennia couvre les berges plates des régions les plus salées. Dans les zones les plus dessalées les prairies à Paspalum vaginatum sont dominantes sur les berges.

6. Invertébrés

Zooplankton: Fagade et Olaniyan (1983) signalent Acartia spp. et Paracalanus dans les régimes alimentaires des poissons. Olaniyan (1969) signale une abondance de zooplankton maximale dans le bassin central et pas de variations saisonnières évidentes. Pas de données quantitatives.

Macrofaune: Sont signalés au fil des articles la présence des gastéropodes Creseis acidula, enteropneust Doliioletta spp., chaetognathes Sagitta inflata, mollusques du genre Pachymelania (aurita sur sables vaseux, fusca sous la mangrove, byronensis dans la zone dessalée), lancelets Branchiostoma nigeriense.

Une faune sessile plus ou moins abondante selon les saisons envahit la zone intertidale du port de Lagos, composée du barnacle Balanus pallidus stutsburi, de l'huître Bryphea gasar, des serpulidés Mercierella enigmatica et Hydroides uncinata et de Chtalamus aestuarii.

Les bivalves Aloïdis spp. et Iphegenia spp. sont signalés comme la nourriture principale de Chrysichthys nigrodigitatus (Fagade et Olaniyan 1973). Fagade et Olaniyan (1973) signalent la présence de crevettes Penaeus duorarum et Macrobrachium et des crabes Callinectes latimanus et Clibernarius africanus.

8. Poissons

Soixante-dix-neuf espèces de poissons ont été recensées dans la lagune de Lagos. Celles citées par Fagade et Olaniyan (1973) sont notées ci-dessous avec leur répartition saisonnière et leur régime alimentaire:

<u>Ethmalosa fimbriata</u> :	Toute l'année mais plus abondant de janvier à mai. Planctonophage.
<u>Tilapia melanotheron</u>	Toute l'année. Détritivores et
et <u>guineensis</u> :	omnivores surtout benthiques.
<u>Chrysichthys walkeri</u> :	Périodes de crues, prédateur non piscivore.

<u>Chrysichthys nigrodigitatus</u>	Toute l'année. Prédateur non piscivore.
<u>Gerres melanopterus</u> :	Toute l'année. Prédateur non piscivore plutôt benthique.
<u>Elops lacerta</u> :	Toute l'année. Piscivore.
<u>Sardinella maderensis</u> :	Planctonophage abondant de janvier à mai.
<u>Pellonula afzeluisi</u> :	Toute l'année. Planctonophage.
<u>Ilisha africana</u> :	De décembre à mai. Planctonophage.
<u>Epinephelus aeneus</u> :	Toute l'année. Piscivore.
<u>Hemichromis fasciatus</u> :	Toute l'année. Piscivore.
<u>Caranx hippos</u> :	Toute l'année. Piscivore.
<u>Sphyraena barracuda</u> et <u>guachando</u>	Toute l'année. Piscivore.
<u>Polydactylus quadrifilis</u> :	Toute l'année. Piscivore.
<u>Scomberomorus maculatus</u> :	De décembre à mai. Piscivore.
<u>Monodactylus sebae</u> :	Toute l'année. Prédateur non piscivore.
<u>Lutjanus goreensis</u> :	Toute l'année. Piscivore.
<u>Lutjanus eutactus</u> :	De décembre à mai. Piscivore.
<u>Pseudolithus elongatus</u> :	Période de crues. Piscivores.
<u>Pomadasys jubelini</u> :	Toute l'année. Piscivore
<u>Citharichthys stamflii</u> :	Toute l'année. Piscivore.
<u>Cynoglossus senegalensis</u> :	Toute l'année. Piscivore.
<u>Liza falcininnis</u> :	Toute l'année. Détritivore et planctonophage benthique.
<u>Mugil bananensis</u> :	Toute l'année.

10. Activités et aménagement

La pression de l'homme sur les lagunes du SW Nigeria est intense. Leurs rivages sont densément peuplés surtout au nord et nord-ouest de la lagune de Lagos (50 à 250 hab./km²), moins sur le cordon lagunaire et autour de la lagune de Lekki. Les forêts marécageuses et humides du nord des lagunes sont largement défrichées. Lagos avec plus de 4 millions d'habitants est la principale agglomération urbaine du pays; c'est aussi la capitale fédérale, un grand centre industriel et le premier port d'Afrique de l'ouest. La plupart des effluents liquides sont évacués en lagune sans traitement préalable. Il en résulte une eutrophisation et insalubrité des eaux qui commencent à être étudiées. Ibadan, seconde ville du pays est localisée sur le bassin versant de la lagune de Lagos à 140 km.

Les lagunes sont l'objet d'une pêche artisanale intense qui alimente les marchés de Lagos, Epe et Ikorodu en poissons frais et fumés. Selon un rapport non publié, les principales espèces demersales exploitées dans la lagune de Lagos sont Polynemus quadrifilis, Epinephelus aeneus, Elops lacerta, Sphyraena sp., Pomadasys jubelini, Chrysichthys nigrodigitatus et Schilbe mystus. Ethmaloses et T. capia font aussi l'objet de pêche intense. Kepetsky (1981) note que les acadjas sont communs aux deux lagunes et que les poissons qui y sont les plus communément capturés sont les Tilapia et les mulets. Les huîtres de mangrove sont aussi récoltées.

Les lagunes servent de voie de transport aux hommes et aux marchandises.

3.2 LAC RETBA par Jean-Yves GAC

1. Géographie et morphologie (fig. 3.17)

Localisation: Presqu'île du Cap-vert, Sénégal: 14°48'-14°53'N, 17°10'-17°15'W (fig. 3.16).

Surface: du lac actuel environ 4 km²; de la lagune originelle (15 km²).

Paysages: Ancienne lagune installée en bordure des dunes d'âge Ogolien (20 000 ans B.P.) et fermée vers le XV-XVI^{ème} siècle par le cordon sableux littoral.

Morphométrie: Le fond du lac Retba est à la cote -7,50 m dans la partie sud-ouest. L'oscillation annuelle du plan d'eau fonction de l'évaporation et des apports météoriques varie de 0,50 m à 1,20 m. Le niveau du lac s'abaisse régulièrement: -2,40 m en 1956; -3,50 m en 1976; -4,10 m en 1980.

Surface actuelle	4 km ²
Volume	7.10 ⁶ m ³
Profondeur moyenne	1,75 m.

2. Géologie

Le lac est dominé au NW par un système de dunes littorales blanches subrécentes et actives qui ont progressivement colmaté l'entrée de l'ancienne lagune; ces dunes situées localement au-dessus d'un niveau argileux constituent un réservoir d'eau douce alimenté par les pluies. Les sédiments du lac sont essentiellement formés par une couche de vase organique à gypse reposant sur un substratum de sables et de coquilles. Toute la partie méridionale du lac est bordée d'amas coquilliers (Kjökkenmøddings où domine *Arca senilis*) témoins du recul progressif de la lagune et vestiges des foyers domestiques des anciennes populations de cette région.

3. Climatologie générale (fig. 3.19)

Climat: BSw; 4 saisons distinctes: décembre à début mars (sèche et froide, alizés continentaux N-NE); mars à juin (alizés maritimes N-NW); juin à octobre (chaude et pluvieuse, mousson W-SW); octobre à décembre (intersaison, alizés intermittents NE).

Insolation: Moy. ann. 3000 h année⁻¹; max. en mai (environ 315 h), min. en septembre (environ 195 h).

Rayonnement solaire global incident:

Moy. ann. 180 kcal. cm⁻²année⁻¹, soit 20,7.10⁶J.m⁻²d⁻¹;
max. en mai (26.10⁶J.m⁻²d⁻¹),
min en décembre (16.10⁶J.m⁻²d⁻¹).

Pluviométrie: Moy. ann. 401 mm (1975 à 1982); valeurs extrêmes 184 et 702 mm; max. en août et septembre (70% des précipitations); Durée moyenne de la saison sèche: de 7 à 8 mois.

Evaporation: Evapotranspiration potentielle: moy. annuelle 1335 mm, évaporation en bac colorado: moy. annuelles 1800 mm; évaporation Piche: moy. annuelle 1100 mm; évaporation estimée du lac: moy. annuelle 1500 mm.

Température de l'air: moy. annuelle 24,8°C; max. en novembre 33,1°C (max journalier: 40°C); min en janvier: 14°C (min. journalier: 8,5°C).

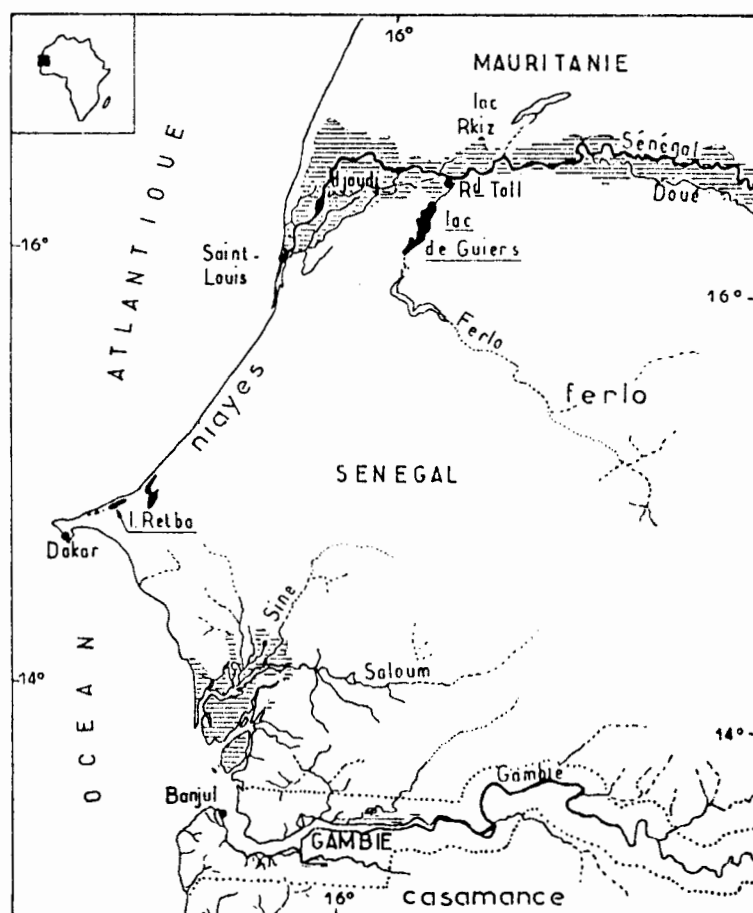


Figure 3.16 Carte du Sénégal, avec indication de la situation du Lac Retba (3.2) et du Lac Guiers (3.3).

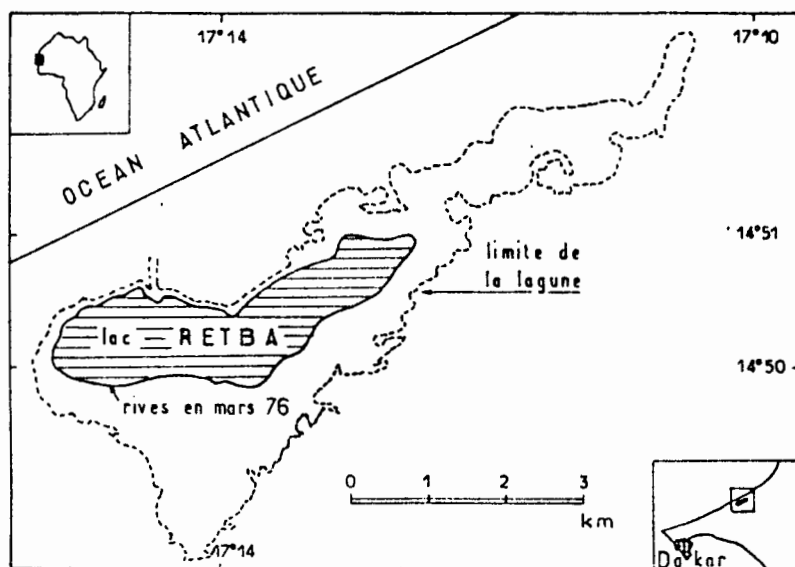


Figure 3.17 Lac Retba

4. Hydrographie et hydrologie

Depuis la fermeture de la lagune, le lac se comporte en bac évaporatoire. Les apports d'eau douce sont tributaires des précipitations directes sur le lac, sur le réseau de surface de l'ancienne lagune (lorsque l'intensité de la pluie dépasse un certain seuil) et sur les dunes littorales. Les pertes sont essentiellement dues à l'évaporation et aux infiltrations dans le substratum. Le déséquilibre entre précipitations et évaporation, depuis la fermeture du lac, entraîne une diminution progressive de sa surface et devrait aboutir à sa disparition par assèchement.

L'équilibre pluriannuel pourrait cependant être rétabli, à long terme, par suite d'une diminution de l'évaporation des eaux sursalées et saturées en chlorures de sodium.

5. Caractéristiques physico-chimiques des eaux

Température de l'eau: moy. annuelle: 26°C avec une très importante stratification thermique (variations de 5 à 10°C entre le fond et la surface).

Les eaux du lac Retba présentent des hétérogénéités hydrochimiques très importantes aussi bien horizontales que verticales (en particulier pour le pH et le potentiel d'oxydo-réduction). La présence d'une zone réductrice à l'interface eau-sédiment qui résulte d'une intense activité microbienne anaérobie pourrait être à l'origine des fortes variations thermiques entre les eaux chaudes du fond du lac et celles de la surface.

La composition chimique des eaux est celle d'une eau de mer concentrée: la stratification chimique est très importante avec une minéralisation moyenne de 162 g/l en surface et de 245 g/l en profondeur. Les plus faibles concentrations ont été mesurées pendant la saison des pluies (86 g/l) et les plus fortes en fin de saison sèche (297 g/l). Les précipitations de gypse et de calcite expliquent le déficit des solutions en sulfate, calcium et bicarbonate. Les eaux des nappes ont une minéralisation variable, bicarbonatée calcique à chlorurée sodique avec des teneurs en sel toujours inférieures à celles du lac (Tableau 3.12).

Tableau 3.12: Physico-chimie de quelques eaux de nappe, du lac Retba (valeurs extrêmes) et de l'eau de mer (Garnier 1978).

Origine	Cond. 10 ⁻³ S. cm ⁻¹	pH	HCO ₃	Cl meq/l	SO ₄	Na	K meq/l	Ca	Mg	SiO ₂ mg/l	Somme g/l
Mer	46	8,2	2,3	548,7	56,7	470,0	9,9	20,7	107,0	4,3	35,0
Lac	111	7,4	3,4	1400,0	105,0	1145,0	24,0	18,5	290,0	5,5	86,0
Retba	180	7,3	7,0	4825,0	368,0	4040,0	80,0	28,0	960,0	4,2	297,0
Eau	0,8	8,0	5,0	3,1	1,3	2,9	0,1	5,0	1,1	13,9	0,6
Nappe	111	7,8	3,7	1300,0	94,3	1100,0	38,0	24,0	290,0	--	81,6

6. Macrophytes

La végétation du lac Retba est de type sahélo-soudanien. Les arbres et les arbustes sont représentés par les palmiers à huile (Elaeis guineensis), les baobabs (Adansonia digitata), les acacias et les jujubiers (Zizyphus mauritania). Les herbacées sont dominés par les graminées (Cenchrus biflorus: kram-kram; Schoenfeldia gracilis, Aristida mutabilis, Andropogon gayanus, Pennisetum violaceum). Dans l'ancienne lagune la végétation est à base de petites plantes crassulées (Salicornia, Sesuvium).

7. Faune et paléofaune

La faune du lac Retba a été extrêmement riche. Le lac actuel en raison des importantes concentrations en sels est pratiquement azoïque à l'exception de quelques dinoflagellés. L'histoire du lac et son évolution depuis la lagune côtière jusqu'à un système clos peuvent être reconstitués à partir d'ostracodes et de mollusques situés sous la couche évaporitique.

8. Aménagements

La forte minéralisation des eaux du lac Retba qui contient environ 2.10^6 tonnes de sel (essentiellement NaCl) a entraîné son exploitation manuelle et artisanale, en saison sèche, par les populations riveraines.

L'auteur remercie M.J. Boyer, Directeur de recherches de l'ORSTOM, de son aide pour le recueil de données sur le climat et la végétation.

3.3. LAC DE GUIERS

par Jean-Yves GAC, F.Xavier COGELS & P.P. VINCKE

1. Géographie et morphologie (fig. 3.18)

Situation: Sénégal, rive gauche du fleuve Sénégal; $15^{\circ}55'-16^{\circ}25'N$, $15^{\circ}45'-16^{\circ}00'W$ (fig. 3.16).

Surface: du bassin versant: env. 354 km^2 ; du lac moyen: 210 km^2 (60%).

Paysages: dunes rouges de l'Ogolien. Le lac se subdivise en 3 régions de surface sensiblement égale: nord, centre et sud.

Morphométrie: présence d'une île importante (Ghélan) dans la zone centrale et de nombreux îlots sableux dans la partie sud; longueur: 50 km (30 km en fin de saison sèche); largeur: 17 km (4 km en fin de saison sèche); surface moyenne: 210 km^2 (max. 300, min. 100); volume moyen: 280.10^6 m^3 (max. 730, min. 50); profondeur moyenne: 1,32 m (max. 2,45; min. 0,50); altitude du fond du lac: -2,00 m.

2. Géologie

Le lac de Guiers (fig. 3.18) occupe une dépression allongée entre les alignements de dunes rouges d'âge Ogolien (20 000 BP) d'orientation générale NE-SW. Les formations éocènes constituées

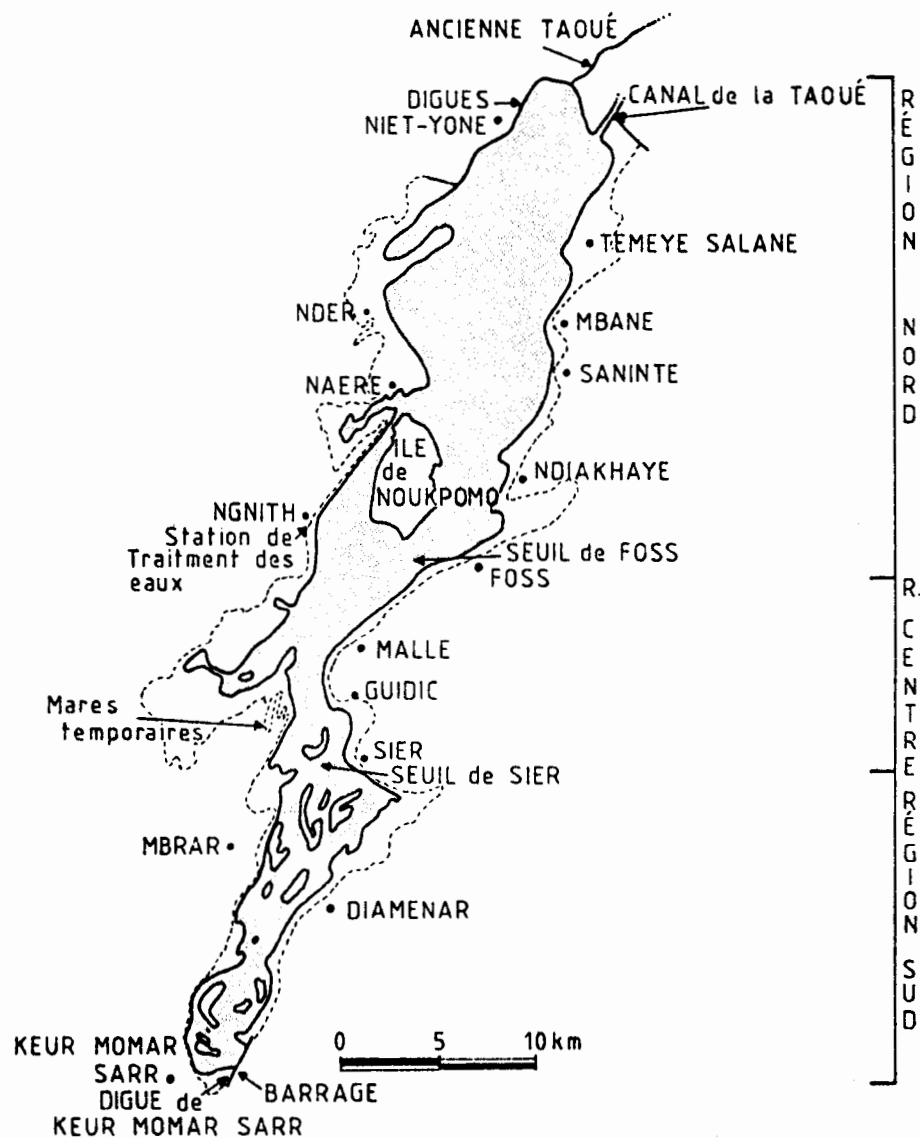


Figure 3.18 Lac de Guiers: détail du cadre géographique actuel et grandes régions naturelles du lac.

d'argiles feuilletées et de calcaire affleurent en rive Ouest et la cuirasse ferrugineuse quaternaire apparaît en lambeaux sur la rive Est. Les sédiments du lac sont constitués de vases, d'argiles sablo-limoneuses, de débris coquilliers et de dépôts organiques.

3. Climatologie générale (fig. 3.19)

Climat: ABW_{wa}. 3 saisons principales: saison pluvieuse chaude (juin à octobre); saison sèche froide (novembre à février); saison sèche chaude (mars à mai).

Température de l'air: Moy. ann. 27,7°C; max. en juin: 30,4°C (max. journalier 45,8°C); min. en janvier: 22,9°C (min. journalier 7,5°C)

Température de l'eau du lac: Moy. ann.: 23,9°C; max. en septembre: 28,7°C, min. en janvier: 19,1°C.

Humidité relative: Moy. ann. 61%, max. en août (80%), min. en février (46%).

Insolation: Moy. ann. 3300 - 3400 h. année⁻¹, max. en avril (env. 320 h), min. en janvier (env. 250 h).

Vent: Vitesse moy. ann. 2,50 m.s⁻¹; max. en juin (3,30 m.s⁻¹), min. en novembre (1,6 m.s⁻¹). Prédominance des vents de NE de novembre à mai et des vents d'W de juin à septembre.

Pluviométrie: Moy. ann. 235 mm (1962-1982); Valeurs extrêmes 61 et 407 mm; max. en août 90 mm (20 - 177); Durée moyenne de la saison sèche: 8 à 9 mois.

4. Hydrographie et hydrologie (Cogels & Gac 1982)

A l'origine le lac de Guiers faisait partie du réseau hydrographique du Ferlo et son alimentation était assurée au Nord (par l'intermédiaire de la Taoué) par le fleuve Sénégal et au Sud par le Ferlo: crues et décrues de l'amont et de l'aval engendraient remplissage ou déversement du lac selon les positions respectives des plans d'eau du fleuve, du lac et de la vallée du Ferlo.

A l'heure actuelle, à la suite d'aménagements successifs, l'alimentation du lac est essentiellement tributaire de la crue du Sénégal et des apports météoriques.

En moyenne de 1976 à 1981, les apports au lac de Guiers ont été de 558.10⁶m³: 80,1% par le fleuve, 10,7% par les pluies, 7,2% par le lessivage des zones irriguées et 2,0% par les nappes (bilan favorable des échanges dans le sens nappes-lac). Les pertes sont essentiellement dues à l'évaporation (79%) et aux pompages (21% dont 19% pour l'irrigation et 2% pour l'alimentation des populations).

Bilan hydrologique du lac de Guiers (Cogels & Gac 1983):

Volume moyen: 280.10⁶m³

Entrées		Sorties	
Fleuve	447	440	Evaporation
Pluies	60	107	Irrigation
Lessivage	40	11	Alimentation
Nappes	11		
	558.10 ⁶ m ³	558.10 ⁶ m ³	

5. Caractéristiques physico-chimiques (Cogels & Gac 1983)

Température: Moy. ann. 23,9°C; max. en septembre (28,7°C); min. en janvier (19,1°C). Max. moy. mensuel: 29,4°C. Min. moy. mensuel: 17,6°C. Très faible stratification thermique (2 à 3°C).

Transparence: très faible, de 20 à 40 cm.

pH: de 7,3 à 9,2

Conductivité: de $80.10^{-6} \text{S.cm}^{-1}$ à $3500.10^{-6} \text{S.cm}^{-1}$ (à plus de $10\,000.10^{-6} \text{S.cm}^{-1}$ dans les mares résiduelles).

Caractéristiques chimiques des eaux: Les eaux du lac de Guiers sont faiblement minéralisées de juillet à octobre (de 60 à 80 mg/l) pendant la période d'alimentation par le fleuve Sénégal. De novembre à juin, le lac fonctionne en système fermé, les eaux se concentrent par évaporation et probablement aussi par les échanges nappes-lac dans lesquels interviennent des reliques fossiles des récentes intrusions marines (Tableau 3.13). Au fur et à mesure de la minéralisation des solutions les éléments dissous ont des comportements différents. Les teneurs en chlore (Cl), sodium (Na) et sulfate (SO_4) augmentent linéairement. La sédimentation chimique touche les carbonates (Alc), le magnésium (Mg), le calcium (Ca) et le potassium (K). L'activité biologique (diatomées) maintient la silice dissoute (Si) à une teneur constante. Les eaux initialement carbonatées calciques deviennent progressivement chlorurées sodiques. Au-delà d'un facteur de concentration de 100, fréquent dans la partie méridionale du lac, le seuil de potabilité est franchi et les eaux deviennent impropres à la consommation.

Tableau 3.13: Physico-chimie des eaux du lac de Guiers à différents taux de concentration (teneur en mmles/l, silice en mg/l).

Facteur de concentration	pH	HCO_3	CO_3	Cl	SO_4	Na	K	Ca	Mg	SiO_2
1	7,55	0,640	---	0,152	0,065	0,206	0,054	0,205	0,071	8,7
5	7,30	1,062	---	1,040	0,104	0,852	0,069	0,348	0,289	9,8
10	7,45	1,748	---	1,872	0,207	1,875	0,142	0,555	0,510	18,0
20	8,40	2,900	0,086	3,448	0,314	3,734	0,352	0,705	0,939	13,9
50	8,75	6,344	0,171	7,543	1,643	9,471	1,014	1,264	2,679	31,1
400	9,20	15,530	1,180	64,150	9,580	75,780	3,250	1,330	10,670	13,0

Oxygène: distribution homogène et proche de la saturation.

Fluor: de 0,1 à 3,5 mg/l

6. Macrophytes (M'Bengue 1981)

Végétation terrestre: dominée au niveau de la strate arborée et arbustive par les acacias et les épineux, au niveau de la strate herbacée par les graminées.

Végétation lacustre: dans la zone submergée, prédominance des Pistia et Nymphaea; dans la zone inondée, abondance des Typha, Tamaris et Phragmites.

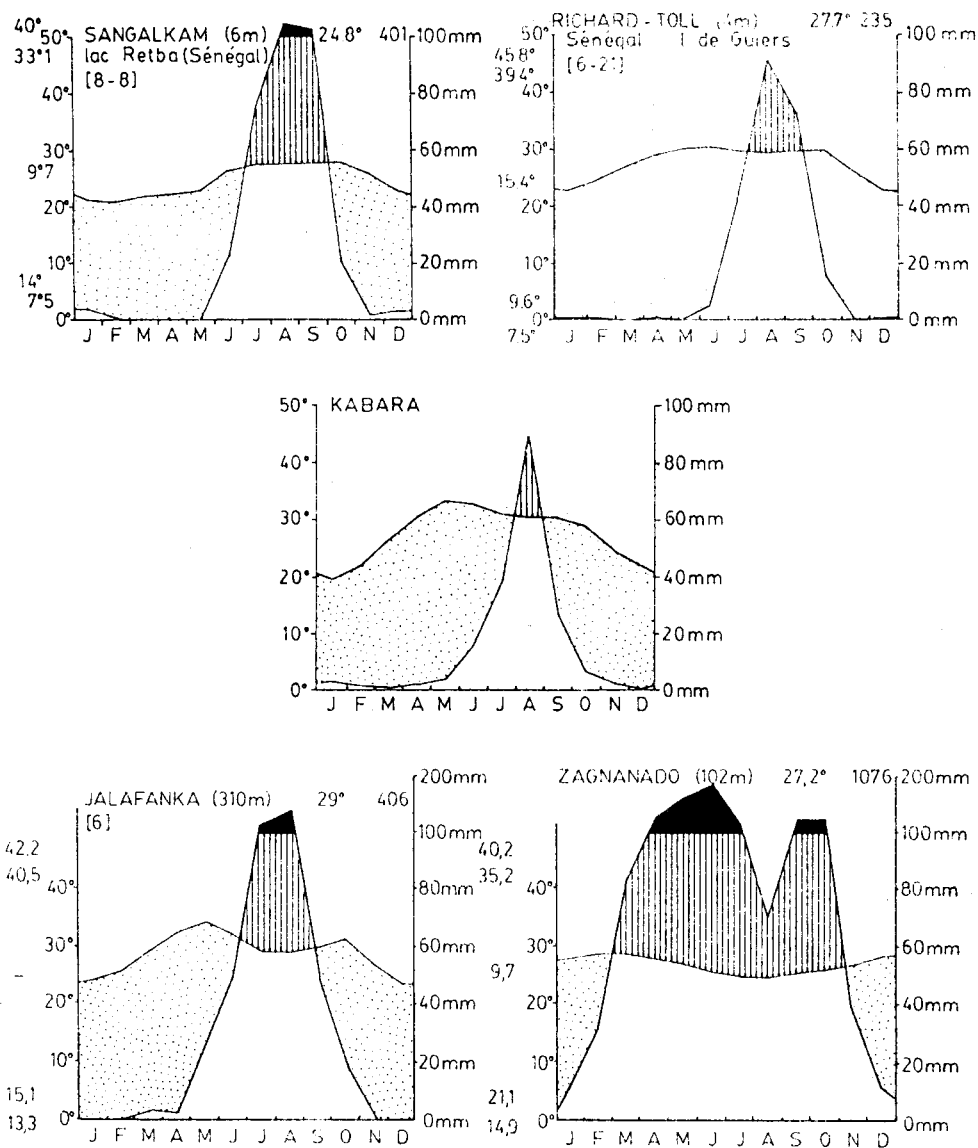


Figure 3.19 Diagrammes climatiques de Lac Retba, Lac Guiers, Lacs du Burkina Faso et delta intérieur du Niger (Inner delta of the Niger).

7. Phytoplancton (Dia & Reynaud 1982)

Le peuplement phytoplanctonique du lac de Guiers est constitué de 49 espèces regroupées en 4 embranchements: Chromophytes (23), Chlorophytes (14), Cyanophytes (8) et Euglénophytes (4). La densité du phytoplancton varie de 0,09 mg/l à 1,8 mg/l et le tonnage d'algues planctoniques dans le lac de Guiers est de l'ordre de 840 tonnes valeur équivalente à celle du lac Tchad. L'importance des Chromophytes (diatomées) est vraisemblablement liée à l'appauvrissement des eaux en silice.

8. Invertébrés

La bilharziose est absente du lac de Guiers malgré la présence des mollusques hôtes intermédiaires: Bulinus guernei, B. senegalensis et Biomphalaria pfeifferi.

9. Poissons

La faune ichthyologique du lac de Guiers est proche dans sa composition à celle du cours moyen du fleuve Sénégal et à celle rencontrée dans la plupart des rivières et des lacs de la zone soudano-sahélienne. Les deux espèces dominantes sont: Tilapia nilotica et Labeo senegalensis. La migration des poissons du lac vers le fleuve se produit de la mi-juillet à la fin août; cette phase est suivie jusqu'à la fin octobre d'une dévalaison vers le plan d'eau lacustre d'alevins issus du fleuve.

Les captures annuelles oscillent entre 300 et 1000 tonnes; pour un potentiel réel de l'ordre de 2500 à 3000 tonnes. L'assèchement, au cours de ces dernières années, d'une grande partie du lac en favorisant des prises plus importantes a entraîné une forte diminution du stock de poissons.

10. Oiseaux (Morel 1972, 1980b)

Le lac de Guiers recèle plusieurs habitats: les eaux libres, les rives boueuses et les flaques d'eau, les massifs de roselières et les fourrés d'Aeschynomene elaphroxylon. Le lac de Guiers est utilisé comme abreuvoir, source de nourriture et dortoir: certaines espèces d'oiseaux y séjournent toute leur vie. Le lac est un habitat ouvert avec des contours qui varient considérablement au cours des saisons et des années: ces déplacements des rives jouent un rôle important sur la population d'oiseaux. La communauté comprend 150 espèces d'oiseaux dont 70 (soit 47%) sont des migrateurs paléarctiques (héron cendré, cigogne blanche, goéland brun, sternes, etc...). Les différences sont très nettes avec l'avifaune de la Sénégambie où, sur les 600 espèces recensées, 28% seulement sont des migrateurs paléarctiques.

Il n'y a pas à l'heure actuelle d'endémies mais les oiseaux sont indirectement menacés par les projets d'irrigation.

11. Autres vertébrés (Thiam 1982)

La présence du lac, réservoir d'eau aux multiples marigots, est déterminante pour la faune de la région. Très abondante autrefois, elle a aujourd'hui fortement diminué. Plusieurs témoignages font état de grands mammifères qui sillonnaient jadis la région (éléphants, lions, buffles, girafes, gazelles, etc...). Cette faune a disparu par suite de la récession du couvert végétal et des multiples pressions humaines (culture, élevage, chasse et braconnage). Etaient encore présents dans les années 1960 des animaux tels que le guib harnaché (Tragelaphus scriptus), la redunca (Redunca redunca), la gazelle à front roux (Gazella rufifrons), la gazelle dorcas (Gazella dorcas) et le céphalophe de Grimm (Sylvicapra grimmia). Signalons essentiellement actuellement la prolifération des phacochères (Phacochoerus aethiopicus). Le lamantin du fleuve Sénégal (Trichechus senegalensis) est en voie d'extinction, avec une colonie réduite à une vingtaine d'individus dans le canal de la Taoué. Enfin, le crocodile du Nil (Crocodylus niloticus) est épisodiquement signalé dans le lac de Guiers.

12. Activités humaines et aménagements (M'Bengue 1981)

a) Distribution et densité de la population: Le peuplement de la région du lac de Guiers est faible (40 000 hab. et une densité de 14 hab./km²) et inégalement réparti: l'agglomération de Richard-Toll regroupe le quart de la population alors que la plupart des villages disséminés autour du lac abrite moins de 500 habitants. La population est caractérisée par la prédominance des jeunes (55%) et la diversité ethnique, linguistique et culturelle (Wolofs, Peuls, Gérers, Laobés, Maures, Diolas et Toucouleurs).

b) Extension et impact du développement: L'extension des projets hydroagricoles autour du lac depuis 1957 a considérablement contribué à l'exode rural, au développement des infrastructures sanitaires, à l'augmentation du taux de scolarisation et à une remise en cause des valeurs et des activités traditionnelles.

c) Type et intensité d'exploitation du lac: Les systèmes d'exploitation traditionnelle de l'espace englobent:

- la culture sous pluie et de décrue: mil, arachide, niébé (légumineuse), manioc, patates douces et courges.
- l'élevage: moutons et bovins (env. 60 000 têtes).
- la pêche: 300 pêcheurs environ avec des prises annuelles variant de 300 à 1000 tonnes (potentiel de l'ordre de 3000 tonnes).
- l'exploitation des ressources naturelles: cueillette de la gomme, récolte des cyperus et coupe des Typha (construction de case).

Le secteur industriel exploite les eaux du lac de Guiers pour:

- la culture de la canne à sucre (12 000 ha) dans la zone nord du lac de Guiers,
- les cultures plus réduites (quelques centaines d'ha) de riz, de tomates et de maïs dans la zone Est.
- l'alimentation en eau des grandes agglomérations.

d) Santé: A signaler l'absence actuelle de cas de bilharziose humaine.

e) Législation, protection du lac, de sa flore et de sa faune: La pêche dans le lac de Guiers n'est accessible qu'aux riverains et il existe depuis 1974 une réglementation de la pêche aux filets trainants dans les eaux intérieures du Sénégal. L'exploitation des eaux du lac de Guiers pour l'alimentation en eau des zones urbaines ou les projets d'irrigation est régie par un cahier des charges.

Enfin, il vient d'être proposé à Dakar, la création d'un Conseil Supérieur de la Région du Lac de Guiers (au sein duquel se retrouveraient les divers utilisateurs ainsi que les Autorités publiques concernées, y compris les Communautés locales et les Groupements socio-professionnels de Producteurs) ainsi que d'une Cellule de Surveillance interdisciplinaire et d'Information scientifique.

Les auteurs remercient toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de : Mme Reversat et M. Morel (ORSTOM), M. Falchetti (Compagnie Sucrière Sénégalaise, Richard-Toll), M. Seck (Société Nationale d'Exploitation des Eaux du Sénégal).

3.4. LACS DU BURKINA FASO (HAUTE-VOLTA) par Christian LEVEQUE

3.4.a. LAC DE BAM

1. Géographie, morphologie et hydrologie

Situation: Burkina Faso (Haute-Volta), un peu au nord de Ouagadougou (1°31'W, 13°19' - 13°27'N); le lac de Bam occupe le lit fossile d'un ancien affluent de la Volta (fig. 3.21).

Origine: Il a été créé dans un passé récent par les déjections de petits bassins versants issus de collines de l'extrémité aval du bassin. Il fut certainement longtemps épisodique jusqu'à ce que le seuil soit aménagé en 1920 d'abord, puis en 1963.

Le bassin versant de 2170 km² est parfois en communication avec le bassin du lac Bourzanga situé plus au nord (440 km²). Le relief est assez plat et la moyenne partie du bassin est couverte de sols peu évolués. Les bas fonds sont en général occupés par des sols hydromorphes peu humifères. Les savanes arborées occupent toute la surface du bassin. L'influence anthropique est très marquée: baobabs, tamariniers, figuiers, Poupartia birrea, Faidherbia.

Le lac large de 800 m s'étend sur 20 km de long en moyennes eaux (orientation N-S). Sa profondeur faible varie suivant les années et le cycle saisonnier, mais n'excède pas 4 m. A la cote 296, le lac est asséché et il se déverse à la cote 299,6 m occupant alors une surface de 25 km². Des assèchements ont été observés en 1932, 1935, 1942, 1948, 1958 et 1971.

La crue intervient de juin à septembre, avec un maximum de mi-août à mi-septembre. Les apports ont varié entre 1966 et 1974 entre 5,9.10⁶m³ (1968) et 100.10⁶m³ (1974).



2. Climat (fig. 3.19)

Le climat est de type sahélien. La pluviométrie moyenne de l'ordre de 701 mm/an varie entre 1066 et 378 mm (1927 à 1974). Entre 1966 et 1974, elle n'a été que de 572 mm/an.

3. Flore et faune

On possède peu d'informations sur la flore et la faune aquatiques. Cependant, une étude des chironomides (Dejoux 1977) a permis de récolter 25 espèces, dont 6 dominantes: Polypedilum laterale, P. fuscipenne, Cryptochironomus sp., C. stilifer, Stictochironomus cafrarius, Cladotanytarsus pseudomancus. La faune ichthyologique est surtout constituée de petites espèces: Alestes leuciscus, Petrocephalus bovei, Brienomyrus niger, Synodontis schall, etc...

4. Pêche

Une pêche de subsistance est pratiquée par les riverains, surtout à l'épervier.

3.4.b. L'OULDALAN ET LA MARE D'OURSIS

La région appelée Oudalan, dont les limites historiques coïncident avec celles de la circonscription administrative du même nom à l'extrême N du Burkina Faso, est comprise entre 14°10' et 15°05'N, 1°W et 0°12'E.

C'est une pénéplaine dont l'altitude varie de 250 à 340 m. On distingue une zone cristalline au sud et une zone sédimentaire infracambrienne au nord. Une grande partie de la surface est couverte de formations éoliennes récentes. Les grands cordons dunaires ont joué le rôle de barrages naturels favorisant l'apparition de lacs ou mares endoréiques plus ou moins permanents, dont les plus importants sont la mare d'Oursi et la mare de Darkoye (fig. 3.20).

La vallée du Beli à l'extrême nord présente tous les signes de dégradation caractéristiques de l'écoulement en milieu sahélien: lit tronçonné par des seuils résultant de l'alluvionnement, écoulement discontinu et intermittent en saison des pluies, chapelet de mares temporaires ou pérennes (Barral 1977).

Cette région de steppe est caractérisée par une strate herbacée où dominent les graminées annuelles, et par une strate arbustive basse, ouverte (mimosacées) ou très fermée (papillonacées et combretacées). La végétation ligueuse dépend étroitement des facteurs édaphiques: Acacia seyal (argiles hydromorphes), Acacia senegal (horizon sableux de faible épaisseur), Acacia raddiana (sols bruns subarides vertiques) et Combretum glutinosum (formation dunaire). Près des mares pérennes ou subpérennes, Anogeissus leiocarpus signale la présence d'eau.

AFRIQUE OCCIDENTALE

Cette zone est encore peuplée par des autruches, des ongulés sauvages (gazelles), des phacochères, des carnassiers (lion, panthère, guépard), des hyènes, des chacals, des éléphants. Cette faune est menacée par l'augmentation de la population (6,5 habitants au km²) et du cheptel qui la prive progressivement des zones refuges.

Les Kel Tamachek sont l'ethnie dominante. Ce sont des nomades vivant essentiellement de l'élevage des bovins.

De manière générale, on possède peu de renseignements publiés sur les mares permanentes ou temporaires de l'Oudalan, et la mare d'Oursi est la seule qui ait fait l'objet de recherches.

Mare d'Oursi

Le bassin versant (286 km²) s'inscrit entre 14°30' et 14°45N, 0°25' et 0°40W. Il est constitué par un socle métamorphique précambrien légèrement incliné vers la mare et s'arrête au nord sur un cordon dunaire aligné d'Est en Ouest. La mare (14 km²) occupe l'extrémité NE.

Le climat est typiquement sahélien. L'insolation est de 3'285 h par an (maximum d'octobre à février) et le rayonnement global de 2191 J/cm²/d (moyenne 1977-1981). Les vents soufflent de NE et E de novembre à avril, et de SW et W de mai à octobre. La pluviométrie moyenne est de 406 mm/an avec un maximum en août, et l'évaporation est d'environ 2500 mm/an sur la mare. La température moyenne annuelle est de 29°.

Les sols présentent une bonne aptitude au ruissellement. Selon l'abondance et la répartition des pluies, le coefficient d'écoulement est estimé entre 12 et 20%. L'apport d'eau à la mare est donc de 12 à 18.10⁶m³. Le niveau maximum est atteint en septembre. L'évaporation qui devient intense après la saison des pluies entraîne en général l'assèchement en fin de saison sèche. La remise en eau se fait en juillet.

La mare d'Oursi présente peu de zones libres de végétation. On distingue une ceinture à Echinochloa colona, Oryza barthii, Panicum anabaptistum et Vetiveria nigriflora. Le centre est occupé par Nymphaea spp., Oryza longistaminata et Echinochloa stagnina.

On ne connaît rien de la faune aquatique.

La région est habitée surtout par des pasteurs nomades. La trop grande densité du cheptel bovin pose des problèmes de pâturages.

3.5. INTERNAL DELTA OF THE RIVER NIGER

by Henri J. DUMONT

1. Geology

The middle delta plain occupies a south-central position in the West African craton. It is conventionally delimited by the 280 m isohypse and is surrounded by sandstone massifs. The plateau of Bandiagara (Dogonland) is situated to the East, the hilly country of Koutiala and of Banfora to the south, and the plateau of Mandingo to the West. To the North and North-west, huge dune areas of late Pleistocene age (the erg Ouagadou) block a former westward course of the river. The delta is probably of tectonic origin. The precambrian basement and overlying palaeozoic sandstone are locally hidden under a cover of pleistocene alluvia. They are folded downwards under the delta, and surface again west of it, where they form hills and shallow escarpments peaking at max. 70 m above the floodplain. A parallel fold further north contains the elongated Lake Faguibine (fig. 3.21). The deepest part of the subsidence of the delta is presently in the east, at the very foot of the Dogonland sandstone. This is also where the Niger is joined by its principal tributary, the Bani river. Whether the western part, the "body" of the delta has been progressively filled up with alluvial deposits, pushing the river eastward, or whether the present bed of the Niger corresponds to the deepest part of the subsidence, is still an unsettled question.

2. Climate (fig. 3.19)

The long axis of the delta is south-north oriented. It covers only 3° in latitude, but these cover the transition between a humid, Guinean climate, and a dry Sahel climate. At San (13°20'N), average rainfall is 750 mm a⁻¹ (53 rain days), but around Niafounke (ca 15°50') only 300 mm a⁻¹ falls, and north of Tonka, the yearly average falls below 250 mm. This latitudinal drop by a factor 3 is paralleled by a threefold variation between years. At Niafounke, which takes a median position, the annual average is 330 mm (1934-1962), and extremes recorded are 148 mm (1961) and 466 mm (1950). All precipitation falls between June and September, with a peak in August. There is virtually no rain between October and April. Local precipitation, in contrast to evaporation, is not, however, an important factor in the water balance of the delta (see below).

Because of its vast expanses of water and vegetation, relative humidity in the delta is fairly high. At San, it is even higher (79% average maximum, 32% average minimum) than at Bamako (73 and 33% respectively). At Faguibine, desertic conditions reign, and relative humidity is of the order of 20-30%.

Temperatures are strongly seasonal, but bimodal because of the cooling influence of the monsoon. This even holds true for the northern city of Tombouctou, although the average maxima are higher here. The latter fall in May (43°C in Tombouctou, 40°C in Mopti, 39.6°C in Segou). The coldest months are December-January. Although it never freezes, temperatures may drop to 3-6°C in the north of the delta.

The wind regime is dominated by trade winds from the N-NE-E sector during the dry season, from the SW-S sector during the rainy season. Wind speed is usually moderate ($2-4 \text{ m.s}^{-1}$) to low ($0-1 \text{ m.s}^{-1}$). The delta itself has a marked influence on the wind regime, especially during the floods, when an immense water surface is present. It then produces a micro-Hadley cell. During the day, the cooling influence of the flooded plain creates a subsidence of air masses above it. The centrifugal wind that results from this has a scattering effect on the incoming north-east trade wind. During the night, when the floodplain is warmer than its surroundings, a centripetal wind is generated, and the incoming trade wind is reinforced.

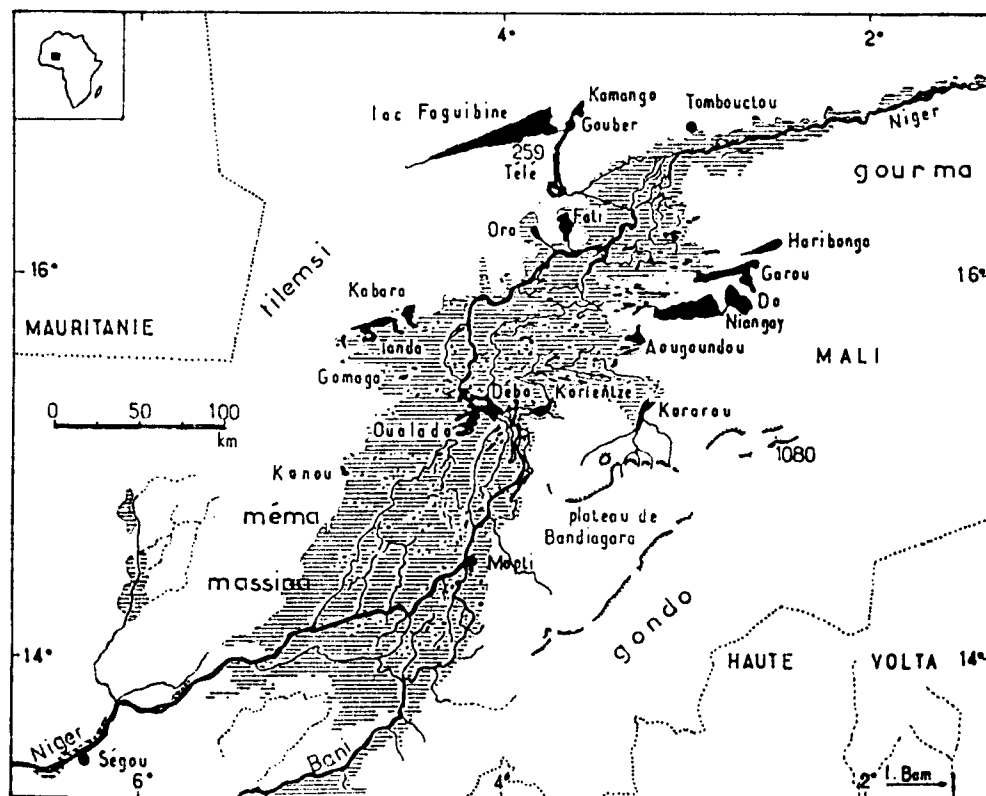


Fig. 3.21 The Inner Delta of the Niger: indicating principal areas of open water, the extent of the floodplain and the location of Lac de Bam.

3. Morphology (fig. 3.21)

To the west of the main inundation zone, which in total covers an area of about $17,000 \text{ km}^2$, a diverticle of the main river leads north into a fossil delta, north of Segou. At Diafaraoe the Niger branches; the main channel curves eastwards towards Mopti, where it is joined by the Bani; a western branch, the Diaka, flows north towards Lake Debo which it joins via a satellite lake, Oualaco. Many other branches of the main river (eg. Mayo Dembo and Mayo Raneo) also re-unite with the main stream in the eastern basin of

lake Debo. Only a minor part of the Niger waters by-pass L. Debo via the Koli-Koli arm and through Lake Korienze. The whole forms an intricate network of channels within which lie numerous swamps, pools of variable area, depth and duration, and intermittent river beds (marigots).

Lake Debo is a shallow lake that expands and contracts as the river level rises or declines. It is bounded to the north by the erg of Niafounke which consists of a row of low, wind-blown dunes that extend across the delta and cause it to widen. Two main branches of the Niger leave L. Debo, the Issa Ber (usually equated with the Niger proper) and the Bara Issa. The latter is rejoined by the Koli-Koli arm and is periodically connected with a series of lakes (Aougoundou, Niangay, Do) to the east. Other lakes in this region, such as L. Korarou, are largely independent of the Niger and are fed by run-off from the Bandiagara-Dyounce sandstone plateau via the Koleou river. The Niger also contributes little water directly to Lake Barou and its satellites (Lakes Gakorey, Titoladune, Kabongo) or to Lake Haribongo. These elongated lakes lie in interdune valleys and may derive part of their water from the groundwater table.

The Issa Ber feeds several major lakes to the west such as L. Tanda and L. Kabara. The Bara Issa and the Issa Ber, anastomosing and meandering through a sandy depression, merge west of Tonka, but then divide again, and it is not until Tombouctou that the Niger withdraws into a single major channel.

Some lakes such as (H)Oro and Fati are broadly connected to the River, and thus rise and fall concurrently with the floods. Others, extending north of the delta, behind an (anticlinal ?) ridge that is flooded only at high river levels, are replenished during peak floods and later recede by evaporation and infiltration only. Examples are lakes Tale, Takara, Gouber, Kamongo and, the largest, Faguibine which occupies the floor of a tectonic fold north of the Niger valley. Thus, some lakes, depending on their area, depth and on the magnitude of the flood, may or may not dry out periodically. Lakes Gouber and Kamongo dry out at irregular intervals, those situated in the depression south of lake Faguibine (the so-called Daouna's, e.g. Daouna beri, Daouna keino) are ephemeral. Lake Faguibine, an extensive east-west triangle of water, is the only lake in the delta with a reasonably deep basin (15 m in its eastern part). Its surface area, when the lake is full, amounts to 450 km². During the dry season, it shrinks back from the west to the east, and large parts of its western bed become exposed.

4. Hydrology

The main hydrological factor of the delta is the yearly flooding. Flood waters are contributed by the Niger, the Bani, and by a series of short rivers that drain the Dogonland plateau. The Niger enters the delta basin at 820 km from its origin and has a catchment area of 120,000 km². Its upper reaches in the Fouta Djallon mountains receive an average precipitation of 1,600 mm.a⁻¹. All this rain falls entirely during the four summer monsoon months (June -

September). It reaches the delta in September. Peak floods arrive between 20-30 September. A total volume of 50.10^9 m^3 is discharged into the delta annually.

The Bani, formed by the merger of the Baoule (700 km) and the Bogoue (850 km) drains hilly country in the north-west of the Ivory Coast, and has a catchment area of $101,500 \text{ km}^2$. Mean rainfall on this basin is only 1,250 mm, and therefore its total discharge into the delta is only 20.10^9 m^3 , with an average of $670 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$. Maximum discharge is slightly later than the Niger's and occurs between 10-20 October.

Compared to these two major sources, the Dogonland rivers are dwarfs. The largest of them, the Yame, has a catchment area of $4,650 \text{ km}^2$ and contributes some $250-500 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$. All the other ones are even smaller and periodical. Their importance lies in the fact that they supply a significant amount of water to the lakes east of the northern delta, such as Lake Korarou.

Once the rivers reach the delta, their slopes drop to an average of 5 cm km^{-1} . Coupled to a lateral expansion, this causes the flood to slow down from a predeltaic propagation rate of $60 \text{ km} \cdot \text{d}^{-1}$ to $5 \text{ km} \cdot \text{d}^{-1}$ inside the delta. Thus, the flood takes 5 days to cover the distance between Koulikoro and Ke-Macina, but a month to reach Mopti, 160 km downstream, and another month to reach lake Debo. Here the maximum is reached in early December. At Gao, finally, peak floods occur in January.

Concurrently with this retardation, the flood peak levels off, while its duration increases. At the entrance to the delta (Ke-Macina), the level rises by 5.3 m at peak floods (corresponding to a discharge of $6,200 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$), while at the confluence of the Niger and the Bani at Mopti, the rise is only 3 m ($3,000-3,500 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$), but the level does not drop significantly until late in January. By that time, the river at Ke-Macina has almost returned to summer levels. North of Lake Debo, peak levels reach only 2,500 mm ($2,300 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$), but it takes until April for the flood to recede. The duration of flooding increases from 50 days in the south to 120 in the north (Gallais 1967).

Of the 70.10^9 m^3 that enter the delta, only some 35.10^9 m^3 leave it. This is due to a combination of evaporation, evapotranspiration by the aquatic vegetation, and infiltration. Yearly evaporation shows a weak S-N trend, with $1.8 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$ at the entrance of the delta (San), 2 m at Mopti, and 2.25 m at Lake Faguibine. Infiltration charges the groundwater table, which almost touches the surface in the central part of the delta, but slopes downwards in a north-western direction, plunging deep under the erg Ouagadou. As a result, at very low summer discharges ($50-60 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$), the river level drops to below the top of the groundwater table. Inside the delta, water is thus actually restituted to the river at that time. This is the reason why some of the delta lakes and the centre of the major pools and swamps never dry out.

5. Aquatic biotopes

Blanc *et al.* (1955) distinguish 6 types of aquatic environment:

- a) the rivers Niger and Bani and their main arms.
- b) the floodplain
- c) the marshy pools
- d) lakes (or pseudo-lakes)
- e) the marigots (two-way periodical river channels)
- f) the irrigation networks.

a) The rivers and their main branches, bounded by raised banks, fluctuate strongly in water level each year, but do not usually dry out at any time. Rocky substrates are found at the delta entrance only. Sands are the most common type of substrate, but muddy bottoms are also important.

b) The floodplains: These are lowlands situated on either side of the river channels, behind the raised banks. When the rivers rise, they spill over their banks and flood the lowlands. Only some small hills (Taguere), often the site of fishing villages, remain above water. At low water levels, these plains dry out completely. They have a clay or sandy-clay bottom that cracks deeply when dry. Daget (1954) subdivides the floodplain into a zone immediately behind the river banks, where some deeper cuvettes are found, and a monotonous, flat area further away from the river.

c) The pools: occupy the deepest parts of the plains. They have a clay or mud bottom, and many are found within the river beds themselves. They communicate with or are absorbed by the rivers at high levels, but isolated at low levels. Pools may have different degrees of permanence. Some are periodical, others are semi- or fully permanent. All fluctuate considerably because of evaporation. They are replenished to some degree by local precipitation before the flood arrives.

d) The lakes: Blanc *et al.* (1955) call the vast expanses of open water of the delta pseudo-lakes, because of their shallowness. When full, they reach the 280 m level. Some are, in fact, hardly more than enormous dilatations of the Niger (Lake Debo, Lake Korientze). Others communicate directly with the river (Horo, Fati) and therefore rise and decline concurrently with the flood. Some lie behind ridges, are flooded only at peak water levels, but do not reconstitute water to the river when its level drops (Faguibine). A few are fed by the Niger at high levels, by its groundwater table at low levels, and by run-off from the Dogonland-plateau (Korarou).

e) The Marigots are channels that link the river or its main branches with the floodplains and its pools and lakes. They show a characteristic two-way flow pattern: from the river to the floodplain at flood levels, from the floodplain to the rivers at declining levels. At a later stage, they become stagnant pools, become fragmented, and may eventually dry out completely.

f) The irrigation network: For the development of irrigated agriculture (rice, cotton), a double network of canals starts from south of Markala Dam. A branch (Canal du Sahel) extends north into the fossil delta, and another one extends east towards Kolongotomo. Other irrigation networks are found along the lower Bani (at San, at Safara), near the confluence at Mopti and in the western delta at

Tenenkou, Oguere-Koumbe and elsewhere. They provide an artificial type of environment, where water fluctuations are greatly damped. The maximum level may actually occur while the delta itself is at its lowest level (e.g. rice cultures require most water in June).

6. Physical properties

Temperature: The water temperatures of the Niger reach an average maximum of 30°C between mid-April and mid-October, with a very slight drop during the monsoon. During winter, the average declines to 21°C and minima even drop to 19°C. There is some vertical stratification during low water, of the order of 1°C between the surface and the 1 m layer (Blanc *et al.* 1955). Diurnal variations at the surface reach an amplitude of 2°C. The minimum occurs at 6-7 a.m., and the maximum around 3-4 p.m. There are no studies about the pools and the lakes, but pools should get hotter than the river. In stagnant sections and dead arms, temperatures as high as 36.2°C have been measured (Blanc *et al.* 1955). The deep eastern end of Lake Faguibine is likely to become persistently stratified in summer.

Turbidity: The waters of the Niger are moderately turbid throughout the year. They carry a stable suspension of fine clay particles that settle very slowly. The average sediment load of the Niger is 0.3 g.l⁻¹. Secchi disc transparency is of the order of 0.9 m, and varies little with time and place. The sedimentation rate of the Niger is, consequently, remarkably low. The pools are usually very turbid, especially those without vegetation. Secchi disk reading of less than 3 cm are common. The irrigation canals have the clearest water, with Secchi values of up to 2.5 m. In the lakes, heavy algal blooms tend to reduce transparency to levels close to those of the pools.

7. Chemical properties

The waters of the Niger are low in minerals. They have a slightly acidic to neutral reaction. An analysis during the 1950s gave following result (in meq.l⁻¹):

Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	conduct. 10 ⁻⁶ S. cm ⁻¹
0.13	0.05	0.2	0	0.4	0.02	0	32.4

The upper catchment consists of insoluble precambrian granites and schists. However, while the water levels drop, evaporation concentrates the ions in the lakes and pools, and even in the river itself. Analyses carried out on samples collected during the dry season of 1976 and 1980 are presented by Dumont *et al.* (1981). These samples were transported overland to Europe, and evaporative loss of water may have produced an overestimation of the ions. Still, the mineral content is significantly in excess of that three decades earlier. Increased human influence on the river, topped by the droughts of the 1970s are probably responsible. The human factor was particularly clear at Mbouna, a village on the shore of Lake Faguibine, where a "banco" extraction pit communicating with the lake had a conductivity as high as 1658.10⁻⁶S.cm⁻¹. The shoreline water still had 409 10⁻⁶S.cm⁻¹, and the open water 186.10⁻⁶S.cm⁻¹.

Lake	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	conductivity 10 ⁻⁶ S.cm ⁻¹
Kabara	0.40	0.37	1.30	0.56	1.70	0.48	0.37	190
Tanda	0.70	0.43	1.80	0.72	2.18	0.64	0.56	282
Tonka	0.16	0.08	0.31	0.24	0.28	0.24	-	76
Horo	0.64	0.33	1.72	0.96	1.01	0.48	2.07	259
Fati	0.24	0.12	0.32	0.56	0.50	0.24	0.30	119
Tele	0.32	0.29	0.45	0.32	0.64	0.48	0.32	113
Faguibine shore	1.60	0.83	1.54	0.72	2.32	0.48	0.53	409
open water	1.04	0.47	0.96	0.48	1.81	0.48	0.18	186
Korarou pool at	0.56	0.03	3.20	-	3.60	0.24	0.07	-
E. Dyabali	0.24	0.08	0.16	0.16	0.14	0.48	0.37	79
pool at								
Dyabali	0.32	0.14	0.29	0.16	0.47	0.24	-	97
pool at								
Ndukala	0.16	0.04	0.29	0.08	0.14	0.48	0.44	75
Niger at								
Markala	0.24	0.14	0.54	0.32	0.64	0.24	-	119

8. Macrophytes

The delta is the range limit for quite a few species of trees, and often northern species are replaced by others in its southern half. Examples are the palm trees Borassus aethiopicum, which occurs in the south of the delta, and Hyphaene thebaica, the dum-palm, which is found in its northern part. A phytosociological anomaly occurs in the fossil delta, where more Sahelian than Sudanian species are found (e.g. Cenchrus biflorus, the well-known cram-cram grass), in spite of precipitation which is in excess of their optimum.

The different biotopes of the delta can be identified by their specific vegetation. Along the rivers, a typical scrub of Mimosa asperata and Salix chevalieri is found, accompanied by undergrowth of Cyperus maculatus. The floodplains are under water too briefly and too shallow to have a true aquatic plant cover. Amphiphytes dominate here: Vetiveria nigriflora, Oryza barthii, Andropogon gayanus, Echinochloa stagnina, E. pyramidalis, Acroceras amplexans and others. The pools are of two types. Some, that have very turbid water, are totally devoid of submerged macrophytes. At best, there may be some floating leaves of Nymphaea lotus. These pools usually contain a high density of fish, and are found in the main river beds. As they dry out and shrink, fringing meadows of Echinochloa stagnina, the bourgou and of Polygonum senegalense appear. These constitute good summer grazing. Permanent pools outside the river banks are rarer, but much richer floristically. Ceratophyllum demersum is the dominant submerged macrophyte. Pools of this type are found near Mopti and at Dyabali (Blanc *et al.* 1955; Dumont *et al.* 1981).

The lakes are mainly surrounded by Echinochloa stagnina, E. pyramidalis, Vossia cuspidata. In Lake Debo, the bourgou is so abundant that it forms a specific sociological unit, termed bourgoutiere (Chevalier 1932). Lake Faguibine has an extensive reed swamp on its southern side. Phragmites stands are also found along some other lakes (Horo, Kabara...). The irrigation channels are fairly rich in water plants (Ceratophyllum) and Typha australis is particularly noted here.

9. Algae

Algal studies have been conducted by Bourrelly (1957), Coute & Roussel (1975) and Maillard (1975). The microfloral assemblages are varied and of Sudanian nature. The shallow lakes used to be dominated by diatoms until 1950s (Daget 1954). Today, the droughts have attracted so many cattle to the delta that eutrophication has resulted, and heavy blue-green blooms occur.

10. Invertebrates

Numerous invertebrate groups have, over the years, been given some attention, but it is not possible in all cases to decide whether species are restricted to any particular environment within the delta. Freshwater medusae have been found only in the Niger itself, and not in the lakes. 8 species of sponges are known, 6 of which are restricted to the river at sites where oyster reefs occur (Topsent 1932). Two, however, also occur in the floodplain. Potamolepis leibnitziae even appears to be endemic to the Niger floodplain. A series of papers by Decloitre (1948-1957) on Protista deals with Thecamoebid Rhizopods. Mollusca are fairly well documented (Daget 1962, 1964; Brown 1980; Van Damme 1984). The only probable endemic is Mutela franci, but it may also be a mere fluviatile form of Mutela rostrata. In the sandy riverbeds, Corbicula consobrina, Mutela rostrata, Caelatura aegyptica, Cleopatra bulimoides are most typical. On muddy river substrates, the reef-building Aetheria elliptica, and Aspatharia spp., Mutela dubia, Bellamya unicolor are more common. The floodplain is poorest in species, and only Bulinus senegalensis is regularly found. The permanent pools, conversely, have a great variety of species: Afrogyrus coretus, Lymnaea natalensis, Bulinus spp., Aspatharia spp., Mutela spp., Cleopatra bulimoides, Caelatura aegyptica, Bellamya unicolor and others.

Rotifers, nematodes and other worm groups have only been studied casually. Numerous papers relate to aquatic insects: Diptera, Hemiptera, Odonata and Coleoptera are well documented. The fauna is diverse and entirely afrotropical. The river, temporary pools and floodplain are poorest in species. The weedy pools are richest, but endemism is low. The lakes, too, have a rather impoverished insect fauna.

Decapod Crustacea are represented by the widespread Caridina africana and by one or more species of crabs. The latter have not been well investigated in the area. Only Potamonautes (Rotundopotamonautes) berardi berardi seems to be reasonably widespread. At least one or two species of Sudanonautes should also occur. The planktonic Crustacea were recently studied by Dumont et al. (1981). Cladocera, but above all Copepoda were found to be plentiful in the pools and lakes. Up to three species of Tropodiatomus, a Thermodiatomus,

several Thermocyclops and Mesocyclops can co-occur in a single lake, besides one or two Daphnia-species, a Bosmina, Moina, Ceriodaphnia and Diaphanosoma. This species richness is a combination of Saharo-Sahelian and Guinean species. There appear to be more species than niches present, and this was regarded (Dumont 1982) as a sign of long-term instability of the biocenoses. In some of the lakes to the north-east of the delta, evidence for subspeciation in Tropodiatomus is apparent (Dumont & Verhey 1984). These populations may have started diverging from the riverine ones some 6000 years ago. In the weedy ponds, there is a diversity of small afrotropical cyclopoids, chydorids and macrothricid cladocerans. Endemism is rare.

11. Vertebrates

Between 100 and 120 species of fish occur in the delta (Daget 1954, 1957) and many are of commercial importance. It is remarkable that one of the few endemics to the delta is a clupeid, Microthrissa miri and planktivorous. Numerous species show adaptations to the cycle of flooding and drying, such as the lungfishes (Protopterus, Polypterus) and the air-breathing catfishes (Clarias spp.), so that they can survive longer than other species, and eventually aestivate. Such adaptations are, however, widespread in floodplain areas throughout Africa. At high water levels, many riverine species penetrate onto the floodplain. Alestes, Tilapia s.l. Schilbe, Distichodus, Clarias, all Cyprinodonts and Mormyrids reproduce here. Gymnarchus niloticus and Heterotis niloticus build nests among flooded grasses. In the river itself, the fish fauna is different according to the nature of the bottom. Rocky sectors, found at the entrance to the delta, have Garra waterloti, Chiloglanis, Labeo parvus, Eleotris sp., and the endemic Gobiocichla wonderi, but the latter is much more common in the rapids upstream. On sandy bottoms, Alestes spp., Barilius spp., Sarotherodon galilaeus, Coptodon zillii, and Hydrocyon spp. dominate. On muddy bottoms, Mormyrus spp., Cytharinus spp., Auchenoglanis spp., Synodontis spp. and Aureochromis niloticus replace them. Permanent pools have a distinctive fauna too, in which Gnathonemus senegalensis elongatus, Marcusenius isodori, Petrocephalus bovei, Gymnarchus, Heterotis, Ctenopoma, Paraphiocephalus, Polypterus, Synodontis, Clarias, Hepsetus, Auchenoglanis and Heterobranchus stand out. Blanc et al (1955) found that some pools conserve an individually recognisable species assemblage through time, in spite of the yearly flooding. Muddy pools tend to have depigmented individuals, and a species assemblage different from the weedy pools.

The fauna of the lakes and marigots is similar to that of the river. The period of flooding corresponds to rising temperatures and, as stated above, is the breeding season of most species, which migrate laterally into the floodplain for that purpose. Two exceptions are Microthrissa miri and Barilius niloticus. Both breed in the river itself, and during winter.

Widespread amphibia in the delta are Ptychadena occipitalis and several closely related species of the Bufo regularis-complex. Crocodiles are common in rivers, pools and some of the lakes. They migrate between pools during the night. Aquatic turtles (Trionyx, Pelomedusa, Pelusios) show the same behaviour.

There is a rich avifauna in the delta, consisting of a majority of fish and insect eating species (Duhart & Descamps 1963; see also Viellard 1981). Among mammals, two piscivorous otter species occur. The major herbivorous species is Hippopotamus amphibius, but there is also a lamaratee (Trichechus senegalensis), which feeds on Polygonum and Pistia. Wild bovids and hippos have regressed considerably in recent decades. Their place is now taken by cattle.

12. Human activity and management

Around 1960, the delta was inhabited by c. 370,000 people. While the Peul are by far the dominant ethnic group, at least 7 other significant tribal entities occur. Human pressure on the delta has increased considerably during the droughts of the 1970s but, because of its fertility, the delta has been a centre of human habitation since prehistory.

Traditional uses of the delta include:

a) Cattle raising: As the flood recedes, good grazing becomes available. This occurs at a time when grasslands outside the delta tend to get exhausted, and a seasonal migratory movement results. The social aspects of this periodical migration are subtle and manifold and are discussed at length by Gallais (1967).

b) Fisheries: These used to be mainly in operation during the flood season, but fishing in the river and on the main lakes (Faguibine is especially productive) has now become perennial.

c) Since the construction of a dam at Markala in 1946, the fossil delta has been irrigated. More and more areas within the delta are also managed for rice and cotton cropping. One of the problems with rice culturing in the area is fish damage. Herbivorous species such as Coptodon zillii, Alestes baremoze, Distichodus brevipennis are particularly destructive to young rice plants. Another problem with irrigated agriculture is the spreading of Bulinus and Biomphalaria. The incidence of Bilharzia is up to 90% of the rural population. Malaria is another health hazard of the area.

A special activity of the Niger is the exploitation of the oyster-reefs as a source of lime. In view of the scarcity of calcium in the area, this is even the major source of this mineral locally.

3.6. SIERRA LEONE

by Patrick DENNY & James GREEN

Information from: Gerrath and Denny (1979) and Green (1979)

There have been so few limnological studies in Sierra Leone that detailed descriptions of individual waterbodies are rarely possible and only a general account can be provided. There are numerous small waterbodies still to be investigated but Lake Sonfon (Fig. 3.22) has been studied in more detail. Efforts are being made to describe the algae of Sierra Leone (Gerrath & Denny 1979, 1980 a, b; Carter & Denny 1982). From one river alone, the river Jong, 240 species of diatoms have been recorded of which 38 are new to science and have been described for the first time.

1. Geology, Climate and Geography

Sierra Leone, a small country on the west coast of Africa, lies between 7-10°N and 10-13°W. It is composed of three major topographic regions: (i) A low-lying coastal strip up to 150 m above sea level, 8-40 km wide made up of marine and deltaic sediments often of Pleistocene origin overlying crystalline schists and gneisses; (ii) A narrow escarpment; (iii) A low plateau from 300-1000 m a.s.l. which is mainly granitic. Bare granitic inselbergs form occasional mountainous regions rising to about 2000 m.

The fresh waters are dominated by a series of drainage valleys from the inland plateau to the Atlantic Ocean and these feed nine main river systems: the rivers Kaba, Mabole, Rokel, Jong (Taia), Sewa, Malen, Waanje, Mao and Mano.

The climate is tropical with a mean annual temperature of about 27°C. There is a severe dry season from November to March when the days are hot (32-35°C) and the nights cool (20°C) along the coast. The wet season is from June to September when the monsoonal south-westerlies precipitate over 500 mm of rain in a month at the coast. The mean annual rainfall around the coast is about 3000 - 5000 mm, but on the plateau it is 2000 - 2500 mm.

The rainy season produces large, deep, fast-flowing rivers, but in the dry season the rivers drop by up to 8 m to form shallow, meandering water-courses.

In the low-lying areas there are shallow lakes which are probably cut off from the river in the dry season. Three of the many lagoons along the River Sewa, for example, include: Lakes Gambia, Popei and Tibi while the coastal lagoons include Lake Mape (Table 3.14)

2. Physico-chemical characteristics of the water

Table 3.14 Situation and physico-chemical characteristics of some shallow water bodies in Sierra Leone.

Lake	Lat. N	Long. W	Alt. m	Area km ²	Depth m	Temp. °C	pH	Cond. 10 ⁻⁶ S cm ⁻¹	Alkalinity meq.dm ⁻³
Sonfon	9°15'	11°30'	549	8.2	8	30	6.8	33.0	0.11
Gambia	7°30'	11°58'	40	3.0	1.5	30	5.0	8.8	n.d
Popei	7°28'	12°00'	40	10.0	1.5	32	5.2	8.8	n.d
Tibi	7°25'	11°58'	40	3.0	1.5	32	4.9	8.1	n.d
Mape	7°08'	11°45'	5	---	2.0	30	7.5	40.0	0.07

Lake Sonfon (Fig. 3.22)

Location: Sula Mountains, Sierra Leone. This is the only permanent lake on the plateau. Some of its physico-chemical characteristics are included in Table 3.14.

Morphometry: The lake basin appears to have been formed by the collapse of the duricrust after deep weathering of subsurface layers. The total drainage area is 24.5 km². There are about seven small streams flowing into the lake, mainly on the eastern side, and an outflow leaves the lake at its southern end.

Macrophytes: In the dry season the greater part of the lake is covered by emergent vegetation, dominated by Thalia geniculata and including Eleocharis dulcis, Polygonum sp. and Colocasia sp. Utricularia was abundant in some parts, particularly around the outflow. Small amounts of Nymphaea lotus are present in the small area of open water. The whole of the emergent vegetation is said to be submerged at the height of the wet season.

Phytoplankton: Grönblad et al. (1968) record 24 species of desmids from the lake. Euglena acus and Lepocinclis ovum were the commonest Euglenophyta (Gerrath & Denny 1979) but several species of Phacus were also common. Other algae are recorded by Gerrath & Denny (1980 a & b). In general blue green algae are sparse; Spirulina major being the most frequent. Among the Cryptophyta Cryptomonas ovata was the most frequent. In the Dinococcales a new species of Cystodinium (C. sonfonense) was fairly common in the plankton. Of the Chlorococcales Ankistrodesmus spp and Coelastrum spp were common.

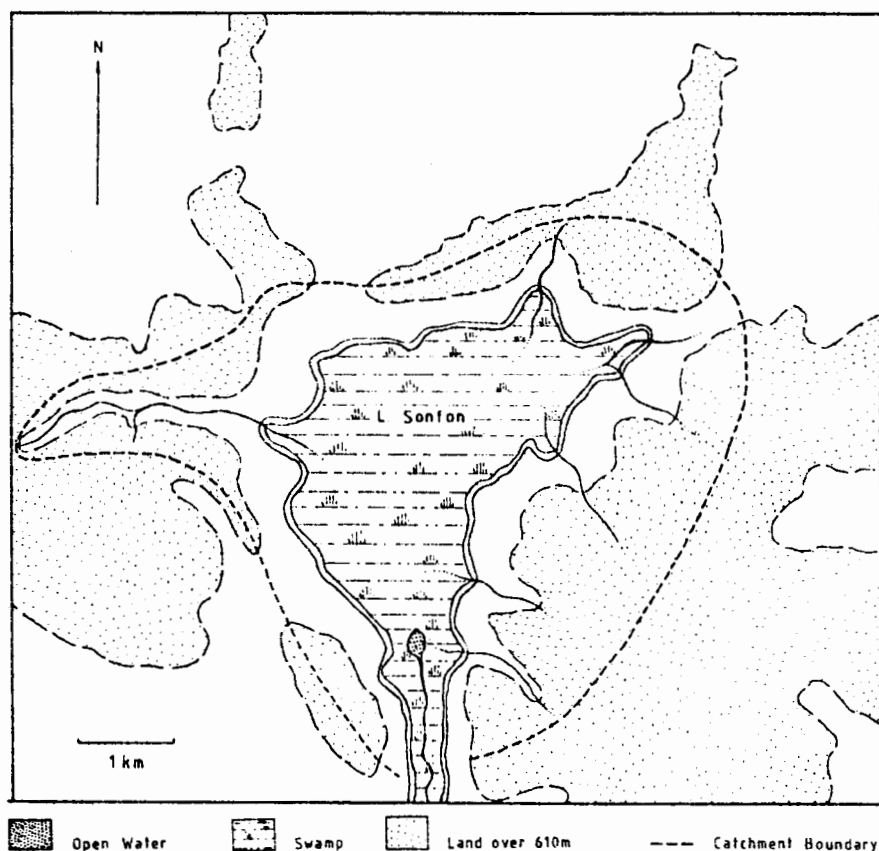


Fig. 3.22 Lake Sofon, Sierra Leone

Invertebrates: 92 species recorded so far, including 19 species of Rhizopoda and 12 species of Crustacea.

Zooplankton was very poorly developed in the dry season (April 1976). Rotifers (21 spp.) mainly found in Utricularia in the outflow swamp, include Filinia brachiata, Lecane tabida, Lecane wulferti and Lepadella imbricata. The blood sucking leech, Limnatis fenestrata was abundant, and responded rapidly to any disturbance of the water. Giant water bugs (Hydrocyrius columbiae) were common and breeding. Nine species of Odonata were found around the lake.

Fish: A small Barbus sp. and a sleeper-goby (Kribia sp.) were found in the open water, and two cyprinodonts (Epiplatys fasciolatus and Aphyosemion guineense) were found in the inflows.

Birds: 6 species were seen in April 1976: Anhinga rufa, Egretta alba, Bubulcus ibis, Plectropterus gambensis, Actophilornis africana and Ceryle rudis.

Human activity: The lake is rarely visited, but isolated hunters operate around its shores.

3.7. COURS INFÉRIEUR ET DELTA DE L'OUÉMÉ (BÉNIN) par Christian LEVEQUE

L'essentiel des informations utilisées provient des travaux de Colombani et al. (1972) et de Welcome (1971).

1. Géographie et morphologie (fig. 3.23)

Le bassin de l'Ouémé (50 000 km² environ) comprend deux unités géologiques: un bassin supérieur à substrat intégralement précambrien, et au relief accusé; un bassin inférieur à substrat sédimentaire tendre au relief peu accentué qui favorise l'étalement et la divagation des cours d'eau. La limite entre les deux bassins se situe un peu au nord du confluent du Zou et de l'Ouémé.

Le delta de l'Ouémé est situé entre 7°16'N et le lac Nokoué (6°30'N) et 2°15'-2°35'E, en République du Bénin. La zone deltaïque occupe une superficie de 9 000 km² et s'étend sur 90 km le long du fleuve jusqu'à son débouché dans la zone lagunaire de Porto Novo.

2. Climatologie

Les vents sont de SW la majeure partie de l'année. La température de l'air est minimum en janvier, maximum en mars-avril. La moyenne annuelle est d'environ 27°C. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1100 à 1150 mm. On distingue une grande saison sèche (décembre à février), une grande saison des pluies (mars à juillet), une petite saison sèche (août), une petite saison des pluies (septembre - novembre). L'évaporation est de 1400 à 1500 mm/an.

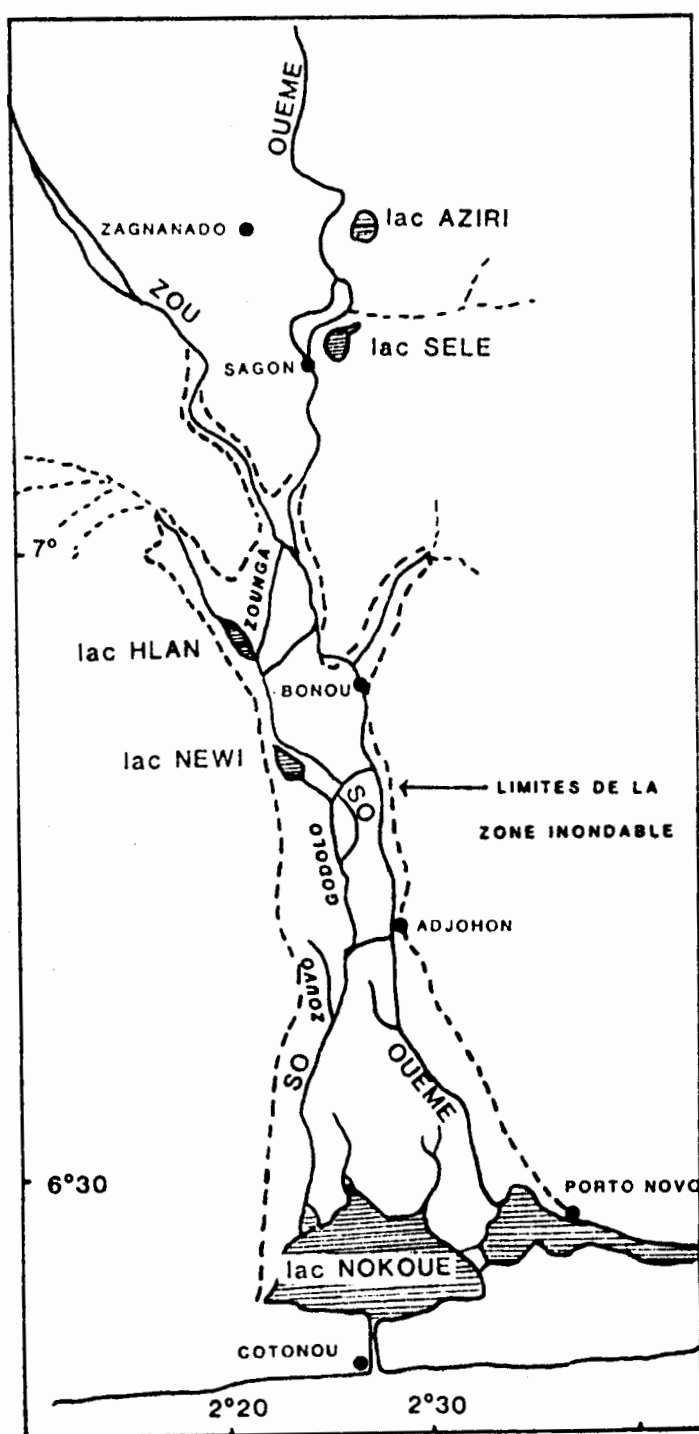


Fig. 3.23 Cours inférieur et delta de l'Ouémé (Bénin).

3. Hydrographie et hydrologie

Le système hydrographique du delta est fort complexe. Au niveau du confluent de l'Ouémé et du Zou se trouve une plaine d'inondation bien individualisée, sorte de delta intérieur du Zou, qui s'étend en une superficie d'environ 80 km². En aval du confluent, le cours de l'Ouémé longe des terres exondées situées à l'est. Les plaines d'inondation s'étendent presque exclusivement à l'ouest de l'Ouémé, sur une largeur de 6 à 8 km. La rivière Sô, qui sort du lac Hlan, coule dans cette dépression, parallèlement à l'Ouémé. Lors des fortes crues, ce lac est alimenté par des eaux provenant du Zou et la Sô reçoit deux affluents de rive gauche: la Zounga, provenant du Zou et l'Agbagbe provenant de l'Ouémé. Lors des faibles crues, la Sô supérieure et le lac Hlan ne sont plus alimentés que par leur bassin propre. Un peu en aval, un défluent de l'Ouémé (l'Ouovi) rejoint la Sô.

Le delta commun à l'Ouémé et la Sô atteint 23 km de large près du lac Nokoué. Entre les deux fleuves, la vaste plaine déprimée est presque entièrement recouverte par les eaux en période de crue. Le régime hydrologique de l'Ouémé est de type tropical de transition, avec une période d'étiage rigoureux de janvier à mai. La crue débute en juin et le débit mensuel maximum a lieu en septembre. La décrue est rapide, en novembre et décembre.

Entre 1951 et 1970, le débit moyen de l'Ouémé à Bonou a été de 212 m³s⁻¹ avec pour extrêmes 33 m³s⁻¹ (1963).

Le lac Aziri (ou Azilli) représente environ 200 ha d'eaux libres en saison sèche et 350 ha de marais permanents. A l'étiage, le niveau du lac est d'environ 4 m au-dessus de celui de l'Ouémé. Pendant la crue, le fleuve monte d'environ 8 m et l'inondation gagne le lac, élevant son niveau de 4 m. La communication s'interrompt à la décrue.

Le lac Selé (ou Celé) a environ la même superficie que le précédent, mais ne possède pas de marais. Il est également relié à l'Ouémé pendant la crue. Le lac Hlan fait environ 190 ha et le lac Newi 80 ha. Il existe également d'autres petits lacs.

4. Poissons

Beaucoup d'espèces peuplent l'Ouémé. Ce sont des espèces largement répandues en zone soudanienne: Labeo senegalensis, Chrysichthys auratus, Citharinus latus, Heterotis niloticus, Distichodus rostratus, Lates niloticus, Heterobranchus longifilis, Clarias spp. etc. (voir Gras 1961 et Welcomme 1971).

5. Activités humaines

La pêche est active surtout en période de crue. La production était d'environ 10 000 t en 1957 et 6500 t en 1968-69 (Welcomme 1971). Il existe des méthodes autochtones de pisciculture: des parcs (acadja) des étangs (whedo) creusés dans la plaine inondable, des trous (ahlo) creusés dans la berge du fleuve. En saison sèche, les pêcheurs pratiquent l'agriculture dans la plaine inondable fertile.

3.8. OPI LAKE A

by Landis HARE

1. Geography and morphology

Opi Lake A ($6^{\circ}45'N$, $7^{\circ}29'30''E$) is located in the West African Guinea Savanna region near its southern border with the coastal forest (Fig. 3.24). It lies, together with a number of similar sized lakes, in the valley of the River Uhere, a branch of the River Ora which drains a small portion of the Enugu escarpment in southeastern Nigeria. It is typical of lakes in the area with the exception that it has no permanent surface inlet or outlet and consequently fluctuates seasonally in depth (max. 2.4–4.0 m). Corresponding fluctuations in mean depth (1.27–2.17 m), surface area (1.4–2.0 ha) and volume ($17,400$ – $43,300\text{ m}^3$) were observed during the period of study (1979–80).

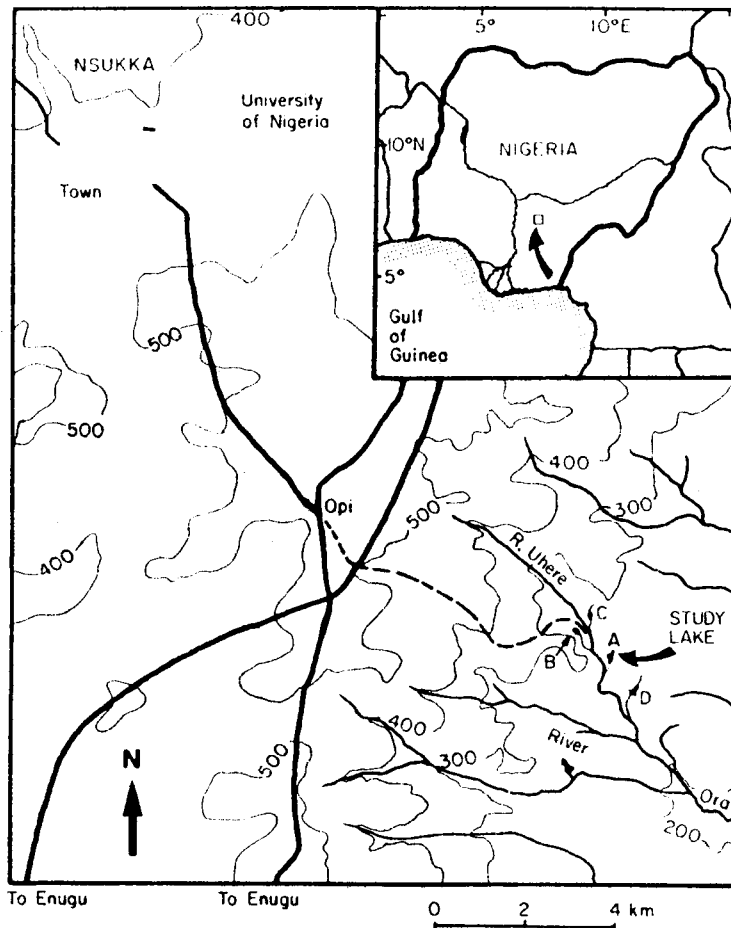


Fig. 3.24 The location of Opi Lake A.

2. Geology and Climate

Soils in the area are heavily leached red laterites grading into sand in river valley bottoms. Opi Lake A experiences a distinct seasonality in weather, largely related to the north-south movements of a broad discontinuity between humid maritime (Atlantic) and dry continental (Saharan) air masses. Less than 2% of the total annual rainfall fell during the driest 3 months of the year (Nov./Dec. - Jan./Feb).

3. Hydrology and chemistry

Lake waters were very dilute ($15-24.10^{-6} \text{S.cm}^{-1}$ at 25°C) and somewhat acid (pH 6.0-6.5), probably a result of the highly leached soils in its small drainage basin (less than 1 km^2). Annual minimum water temperatures were recorded during the early dry season Harmattan period. A diel cycle of day-time thermal stratification and complete or near-complete night-time destratification occurred throughout the year. During the dry season, when prevailing winds were strong and lake depth shallow, night-time destratification was accompanied by deep circulation. In the rainy season, when prevailing winds were weak and lake depth was greatest, deep vertical circulation apparently did not take place, as evidenced by anoxia in near-bottom waters.

4. Flora and Fauna

The only aquatic macrophyte common in the lake was Nymphaea micrantha. The lake phytoplankton was dominated by Chlorophyta, mainly desmids, during the rainy season and by varying proportions of Chlorophyta, Euglenophyta and Cyanophyta during the dry season (S. Biswas pers. comm.). The dominant crustacean zooplankter at all times of the year was the cyclopoid copepod Thermocyclops consimilis. The deep water benthic community was dominated by Chaoborus (3 species) while at shallow water sites Chironomidae or Chironomidae and Naididae were most abundant.

5. Human activity

The escarpment on which the lakes were located was forested and relatively undisturbed as compared to the more heavily populated and cultivated highlands and lowlands. Direct human influences were largely in the form of clothes washing and angling by local residents.

BASSIN TCHADIEN

Coordonnateur

CHAD BASIN

Co-ordinator

Christian LEVEQUE

Le bassin tchadien occupe une surface de 2 300 000 km². Il se subdivise en bassins endoréiques secondaires dont le plus vaste est celui du lac Tchad (entre 6° et 20° N, 7° et 25° E), vestige d'une vaste étendue lacustre équivalente à la mer Caspienne qui existait il y a 6000 ans B.P.

Le lac Tchad est alimenté par le Chari grossi du Logone dont le bassin versant occupe près de 700 000 km² et présente de vastes plaines au relief monotone envahies par les eaux au moment de la crue. A l'ouest, un autre tributaire, la Komadougou Yobé, traverse également une plaine marécageuse.

Le lac Fitri, bassin endoréique secondaire alimenté par le Batha, est une réplique miniature du lac Tchad.

Enfin, les déversements du Logone sur sa rive gauche donnent naissance aux lacs Toubouris drainés à l'aval par le Mayo Kebi, affluent de la Benoué. Ce trait d'union entre les bassins du Tchad et du Niger sera traité dans ce chapitre bien qu'il soit parfois considéré comme appartenant au bassin du Niger.

Il n'est bien entendu pas possible de décrire dans le détail les différentes zones humides du bassin tchadien pour lesquelles, à l'exception du lac proprement dit, on ne possède généralement que très peu d'informations. Nous nous sommes donc limités ici aux principales zones humides (carte fig. 4.1).

4.1. LAC TCHAD

par Christian LEVEQUE

1. Géographie et géomorphologie

Situation: Le lac Tchad est partagé entre le Tchad, le Niger, le Nigéria et le Cameroun. Il est compris entre 12° et 14° 20 N, 13° et 15° 20 E. Le plan d'eau est à l'altitude de 283 m.

Surface: Le lac Tchad, suivant les fluctuations climatiques, occupe tout ou partie d'une cuvette endoréique de 25 000 km². La cuvette tchadienne s'étend sur 2 300 000 km² entre 5° et 25° N, 7° et 25° E.

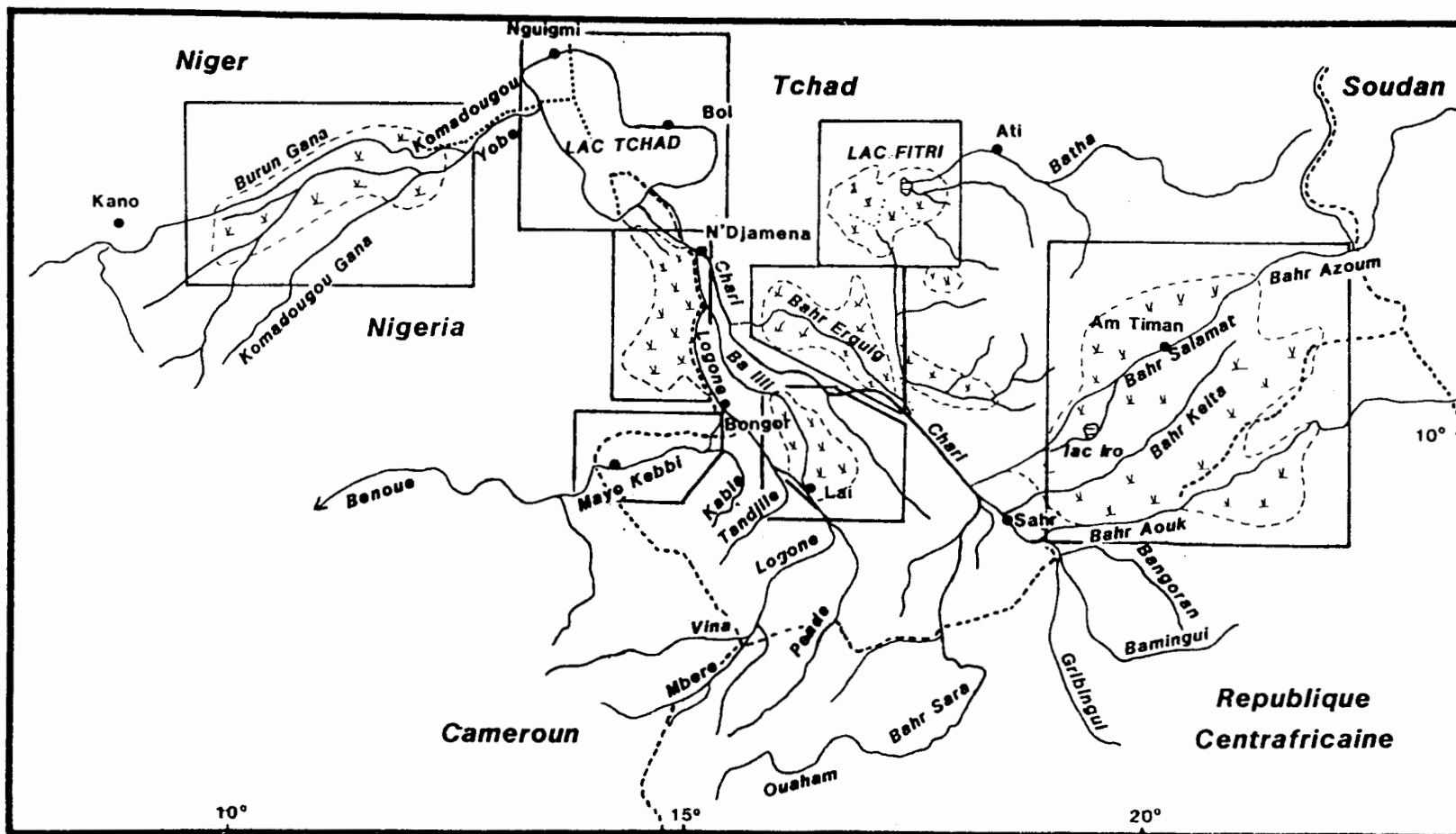


Fig. 4.1 Situation générale du bassin tchadien et des principales zones traitées dans le chapitre.

Actuellement les bassins d'alimentation sont ceux du Chari et du Logone situés dans la partie méridionale de la cuvette et qui ne représentent que 25% de la superficie totale de celle-ci.

Paysages: Le lac Tchad occupe une partie d'un erg orienté SE-NW. Il est entouré de dunes sur toute sa côte orientale. Le relief est extrêmement plat, à l'exception des rochers d'Hadjer el Hamis d'origine volcanique.

Le lac lui-même présente trois grands types de paysages (fig. 4.3).

- des îles très nombreuses sur la bordure orientale qui correspondent au sommet exondé des dunes de l'erg immergé.
- des îles de végétation, enracinées ou flottantes, dénommées îlots bancs (*Cyperus papyrus* et *Phragmites* principalement).
- des zones d'eaux libres.

2. Morphométrie

Le lac peut être divisé en une cuvette sud et une cuvette nord séparées par un étranglement constitué de hauts fonds et appelé la Grande Barrière. Celle-ci est envahie par la végétation lorsque le niveau du lac est bas.

Les caractéristiques morphologiques dépendent étroitement des conditions hydrologiques, et notamment du niveau de l'eau (fig. 4.4) qui peuvent varier très rapidement en quelques années. On distingue schématiquement trois états (fig. 4.5).

- "Tchad Normal", qui correspond à une situation moyenne. L'altitude du plan d'eau est de 282 m pour une surface d'environ 20 000 km². La profondeur moyenne de la cuvette sud est de l'ordre de 3 m, celle de la cuvette nord de 5 m.
- "Petit Tchad": l'altitude du plan d'eau est de 280 m. Il y a séparation des cuvettes nord et sud par exondation de la Grande Barrière et assèchement de la cuvette nord. Le lac est alors réduit à la cuvette sud. Cette situation est survenue en 1975 par exemple et se poursuit actuellement.
- "Grand Tchad": l'altitude du plan d'eau est de 283 m et la surface est estimée à 25 000 km². Cette situation a été observée de 1963-1965 par exemple.

3. Géologie

Le remplissage quaternaire du bassin est de type fluvio-lacustre avec un empilement séquentiel de phases sableuses et argileuses. Les sédiments sont déposés sur une épaisseur de plusieurs centaines de mètres. La profondeur du socle a été déterminée par réfraction sismique à 550 m dans la région de N'Djaména. Le socle s'enfoncerait de façon continue vers le nord du lac et serait à 1500 m de profondeur à la frontière nigérienne. L'activité tectonique paraît marquer la région selon une direction SW-NE et est confirmée par la présence de pitons rocheux (les "hadjer"), situés au S.E. du lac et des anomalies gravimétriques au nord du 13ème parallèle.

Sédimentologie

On ne rencontre que des substrats meubles dans le lac Tchad. Quatre types principaux de sédiments ont été identifiés (Dupont 1967, 1970):

- la vase présente généralement en suspension fine et homogène. La teneur en eau est 2,5 à 5 fois le poids sec et il y a une fraction non négligeable de matière organique (10 à 15%). A proximité des bordures végétales, les débris en décomposition sont particulièrement abondants et le sédiment (zones d'archipel et d'îlots bancs) acquiert un faciès plus tourbeux;
- l'argile qui peut être plus ou moins structurée ou se présenter sous forme de granules. La teneur en eau varie de 40 à 130% du poids sec et la fraction organique ne dépasse pas 5%. Ce sédiment est surtout abondant dans les eaux libres et occupe 30% environ des fonds de l'archipel.
- les pseudo-sables qui sont des granules de 0,2 à 0,3 mm de diamètre constituent des bancs de 5 à 15 cm d'épaisseur. Ces oolithes ferrugineux composés essentiellement de goethite et de nontronite abondent dans les eaux libres du sud.
- les sables d'origine fluviale ou éolienne.

Dans la partie septentrionale du lac, on note la présence de carbonates (calcite), de silice amorphe et d'argiles magnésiennes.

Paléolimnologie (Servant M. & Servant S. 1983)

A la fin du Tertiaire, la cuvette tchadienne était occupée par de très grands lacs qui ont déposé des sédiments d'une épaisseur de plusieurs centaines de mètres. Au Pliocène supérieur et au début du Pléistocène, les changements climatiques ont entraîné l'assèchement du bassin.

L'environnement lacustre de la cuvette tchadienne s'est modifié considérablement au cours du quaternaire récent en fonction des variations climatiques. Des études palynologiques, géologiques et l'examen des Diatomées fossiles ont montré que:

- entre 40 000 et 18 000 ans BP, la cuvette était occupée par de nombreux lacs. La présence de sable éoliens indique qu'ils s'asséchaient par intermittence.
- de 18 000 à 13 000 ans BP, ces lacs ont complètement disparu et le sédiment a été remanié par le vent;
- depuis 13 000 ans BP de nombreux lacs se sont de nouveau installés dans le bassin, avec également des périodes d'assèchements. Beaucoup d'auteurs reconnaissent l'existence d'une vaste étendue lacustre vers 5-6000 ans BP qui atteignait les dimensions de la mer Caspienne.

4. Climat

As_{7a} (Köppen). Saison sèche froide (novembre à février); saison sèche chaude (mars à mai); saison pluvieuse chaude (juin à octobre) (fig. 4.2).

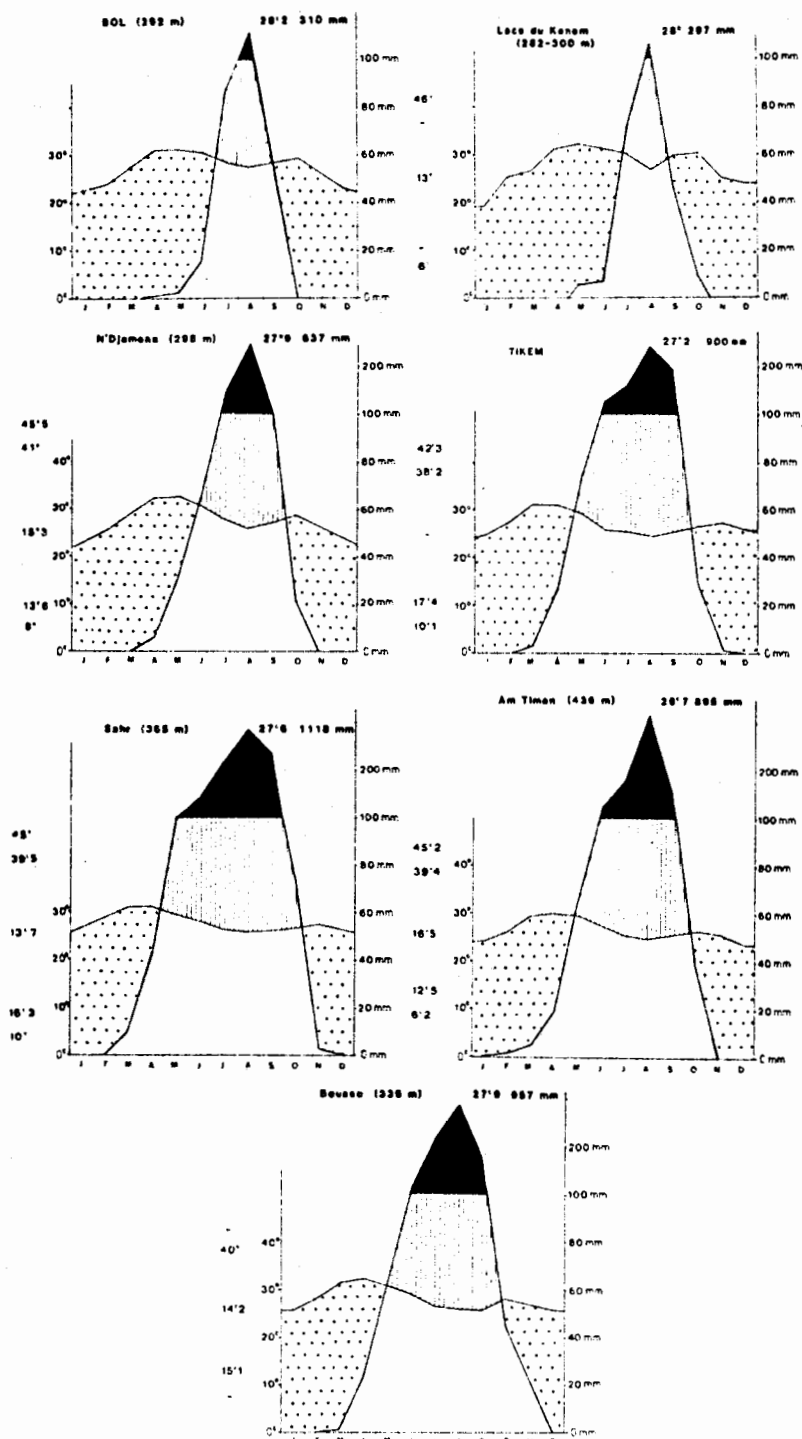


Fig. 4.2 Diagrammes climatiques du bassin tchadien.

Insolation: Moy. ann. (1965-1970): 3413 h.an⁻¹ (station Bol Dune); max. en octobre-décembre (305 à 309 h); min. en août (230 h). Le mois d'août est le plus nuageux. A Nguigmi (1957-1965), 3380 h.an⁻¹.

Rayonnement solaire global incident: (V. Fig. 4.6): moy. ann. mesurée à N'Djaména: $23,08.10^6.J \text{ m}^{-2}d^{-1}$; min. $21,4.10^6.J \text{ m}^{-2}d^{-1}$ en janvier; max. $25.10^6.Jm^{-2}d^{-1}$ en mars.

Vents: L'harmattan souffle du NE d'octobre à avril, et la mousson de SW de mai à septembre. Ces vents relativement forts soufflent surtout le matin de 6 h à 12 h et la vitesse moyenne est supérieure à 5 m.s⁻¹ pendant 6 h chaque jour. A ces deux vents principaux se conjuguent des vents locaux, provoqués par des ascendances thermiques, dirigés la nuit vers le lac, et le jour vers les rives. 134 km.j⁻¹ à Bol (1965-70).

Pluviométrie: moy. ann.: 325 mm (entre 123 et 565 mm); max. en août (40 à 60% du total annuel).

Durée moyenne de la saison sèche: d'octobre à mai.

Evaporation (station de Bol):

- Bac Colorado en sol nu, moyenne annuelle (1965-1970): 3298 mm
- Bac de classe A, moyenne annuelle (1965-1970): 3778 mm
- Evaporimètre Piche, moyenne annuelle (1965-1970): 2672 mm.

L'évaporation moyenne annuelle du lac Tchad (2150 mm), estimée par le bilan hydrologique, est très proche de l'évapotranspiration potentielle mesurée sur lysimètre à Matafo (2160 mm de 1964 à 1970 avec un écart interannuel d'env. 7%). L'ETP est maximum de mars à juin (20 à 25 cm) et d'octobre à novembre (19 cm).

Température de l'air:

- Moyennes annuelles entre 27° et 28°
- Moyennes mensuelles 28 à 32° en saison chaude; 26 à 28° en saison des pluies; 21 à 23° en saison fraîche
- Max.: En avril-mai (moy. max. journalière 39-40°; moy. min. journalière 23-26°); min. en janvier (moy. max. journ. 29-33°C; moy. min. journ. 11-15°C)
- Ecart diurne: Max. de décembre à février (16 à 20°C), min. en saison des pluies (7 à 10°C).

Humidité de l'air: Elle est maximale en août (72 à 81%) et minimale en février-mars (23 à 31%). La moyenne annuelle ne dépasse pas 36%. L'humidité est maximale pendant la nuit, minimale vers midi.

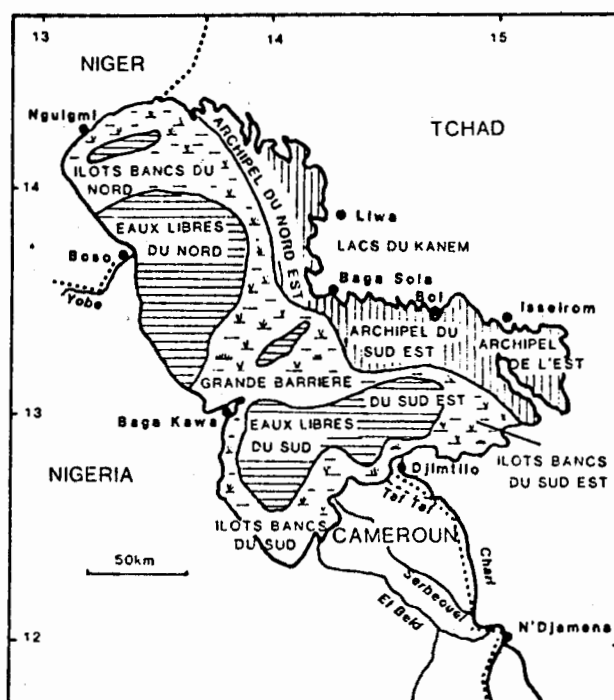


Fig. 4.3. Paysages et principales régions du lac Tchad à la cote 281,9 m (d'après Carmouze 1976)

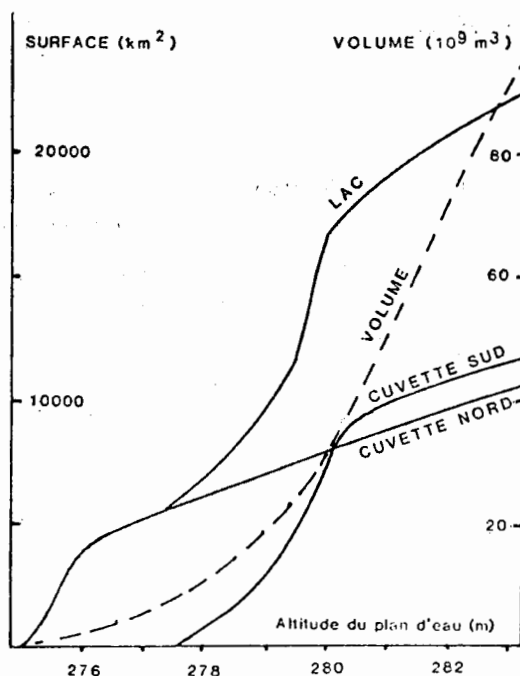
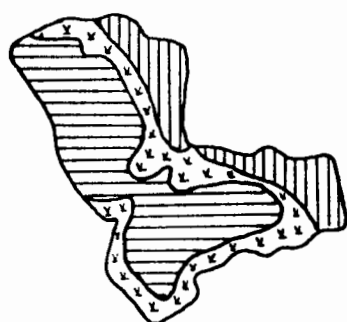
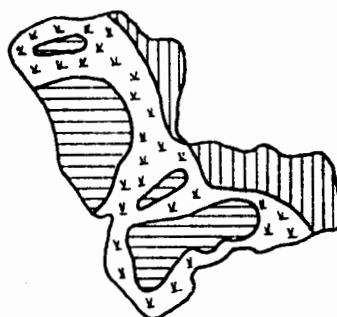


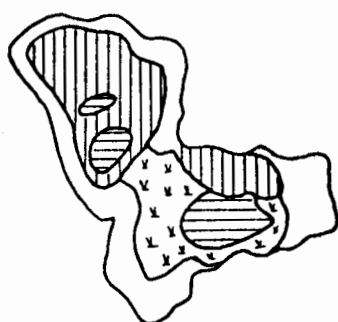
Fig. 4.4. Lac Tchad: relation entre l'altitude du plan d'eau, la surface et le volume du lac Tchad (d'après Carmouze & Lemoalle 1983)



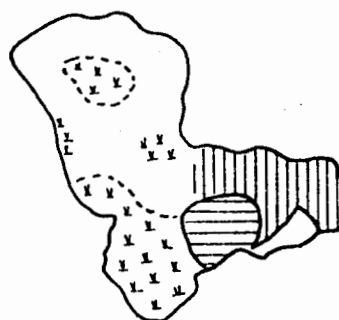
GRAND TCHAD (alt. 283 m)



TCHAD NORMAL (alt. 282 m)



**PETIT TCHAD (déc. 1973)
(alt. 279,5 m)**



**PETIT TCHAD (juillet 1975)
(alt. 280 m)**



eaux libres



archipels



**îlots bancs et
végétation immergée**

Fig. 4.5 Paysages et état du lac Tchad en fonction de l'altitude du plan d'eau.

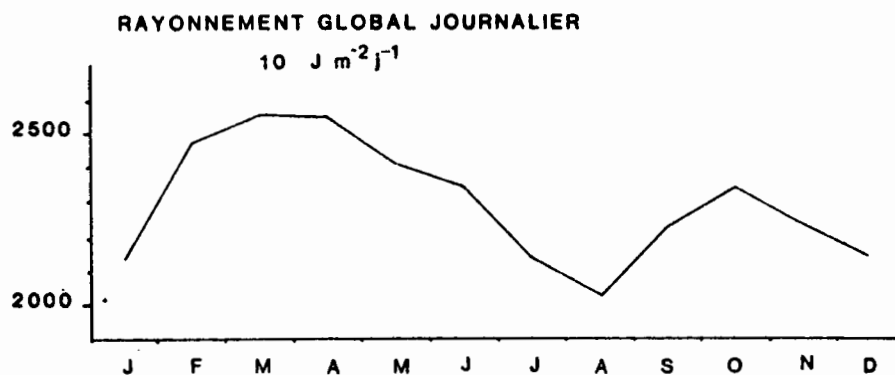


Fig. 4.6 Rayonnement global journalier à N'Djamena (1968-1973)
 (Lemoalle 1979).

5. Hydrographie et hydrologie

Le lac Tchad est un bassin endoréique. Le volume du lac (72.10^9 m^3 en moyenne) résulte d'un équilibre entre les apports essentiellement d'origine fluviale et les pertes dues surtout à l'évaporation (fig. 4.7).

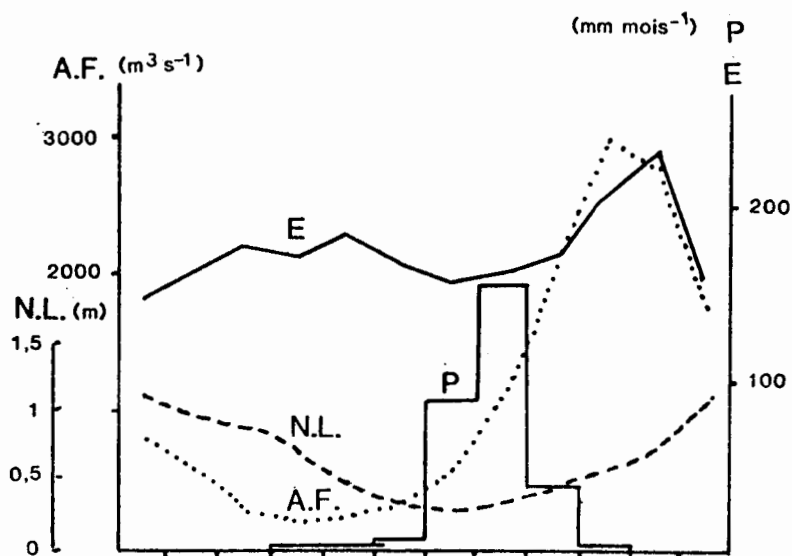


Fig. 4.7 Moyennes mensuelles des différents éléments du bilan hydrologique du lac Tchad. E: évaporation; P: pluviométrie; A.F.: fluviaux; N.L.: niveau du lac.

Les apports fluviaux proviennent essentiellement du Chari (91%) et à un moindre degré du Serbeouel (5%), de l'El Beid (3%) et de la Komadougou (1%). Le Chari au Delta se caractérise par un régime tropical avec une crue qui débute en juin pour atteindre un maximum entre mi-novembre et mi-décembre. 85% du volume annuel est déversé de juillet à décembre, dont 59% de septembre à novembre.

Le régime du Serbeouel dépend de celui du Chari. L'El Beid coule à partir d'octobre et a un débit maximum en décembre et janvier, ainsi que la Yobé dont la crue débute en juillet.

Les apports par les pluies ont lieu de juillet à septembre, donc avant le maximum des apports fluviaux.

Le niveau du lac atteint son maximum en décembre-janvier, et l'étiage intervient en juillet. L'écart entre les niveaux est en moyenne $0,93 \text{ m} \pm 0,40 \text{ m}$.

En raison de sa faible profondeur et de son faible volume, le lac amortit mal les variations importantes de l'hydrologie des tributaires. Ainsi, les crues faibles de 1972-73, 73-74 et 82-83 ont entraîné une importante réduction de la superficie et l'isolement puis l'assèchement de la cuvette nord. Une telle situation avait déjà été observée au cours des deux épisodes arides centrés sur les années 1913 et 1942 (fig. 8).

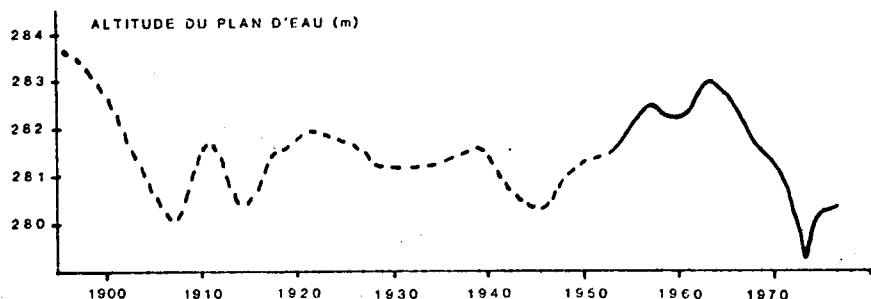


Fig. 4.8 Variations de la cote moyenne du plan d'eau de 1900 à 1975. Observé: trait plein; reconstitué: pointillé.

6. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau

Température: La température moyenne annuelle varie entre $25,5^{\circ}$ et $27,5^{\circ}\text{C}$. (min. de décembre à février: 17 à 21° ; max. en avril-mai: plus de 30°).

La moyenne des écarts journaliers est d'environ 2°C . Le lac ne présente pas de stratification thermique; une telle situation peut cependant apparaître durant les périodes sans vents.

Tableau 4.1 – Bilan hydrologique du lac Tchad en situation moyenne.

	APPORTS $10^9 \text{m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$	%		PERTES $10^9 \text{m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$	%
Tributaires	41,5	87	Evaporation	44	92
Pluies	6,35	13	Infiltration	3,85	8

Transparence: Elle varie selon les saisons, les régions du lac, et la cote du plan d'eau. Au stade "Tchad Normal", dans les eaux libres de la cuvette sud, elle est maximale en décembre-janvier (1 m) et minimale en août (20 cm). Ces variations sont moins marquées dans l'archipel. Dans la cuvette nord, la transparence est comprise entre 60 et 90 cm.

Lorsqu'on évolue vers un état "Petit Tchad", la transparence diminue rapidement et atteint des valeurs très faibles (10 cm) dans la plupart des régions.

pH: Le pH des eaux du Chari varie entre 7 et 8. Dans le lac il ne dépasse pas 8 dans la cuvette sud et atteint 9 dans la cuvette nord (tabl. 4.2).

Conductivité: Elle augmente avec l'éloignement par rapport au delta du Chari (tabl. 4.2). Elle est en moyenne de $450 \cdot 10^{-6} \text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$.

Salinité: Elle évolue dans le temps et dans l'espace.

- En période "Tchad Normal" Chari: $40-70 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$; eaux libres de la cuvette sud: $60 \text{ à } 120 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$; archipel de la cuvette sud: $100 \text{ à } 150 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ avec des valeurs de $300 \text{ à } 400 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ dans certaines zones; cuvette nord: $700 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ en moyenne avec des valeurs de $800 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ dans l'extrême nord.

- En période "Petit Tchad", eaux libres de la cuvette sud: $40 \text{ à } 80 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$; archipel de la cuvette sud: $500 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$; eaux libres de la cuvette nord: $1000 \text{ à } 3000 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

Hydrochimie: La composition chimique des eaux varie qualitativement et quantitativement d'une région à l'autre. Les compositions moyennes en période "Tchad Normal" sont indiquées dans le tableau 4.2. Près du delta du Chari, les eaux sont faiblement minéralisées et carbonatées calciques et magnésiennes. Elles se concentrent progressivement vers le nord sous l'effet de l'évaporation et la proportion des différents éléments se modifie. Les saumures terminales sont chlorurées sodiques et potassiques avec une réserve alcaline importante.

Les variations saisonnières sont plus accentuées dans les régions proches du Chari.

En période de "Petit Tchad", les eaux résiduelles de la cuvette nord deviennent très alcalines (pH 9,2) avant l'assèchement. Dans la cuvette sud, les caractéristiques restent proches de celles observées en période "Tchad Normal". Les eaux sont de type bicarbonaté-sodique.

Phosphates: Quelques dosages de phosphates dissous ont été réalisés en période "Tchad Normal" (tableau 4.2).

Tableau 4.2. Composition chimique des eaux en période Tchad "Normal" dans les principales régions du lac Tchad (fig. 1). Les valeurs sont en mg.l^{-1} quand l'unité n'est pas indiquée. D'après Carmouze (1976) et Gac (1980). Les valeurs entre parenthèses sont approximatives et déduites des expériences d'évaporation.

Zones	Cond. 10^{-6}S.cm^{-1}	pH	Na	K	Ca	Mg	Somme cations	Alc	Cl	SO ₄	Somme anions	PO ₄ 10^{-6}g.l^{-1}	H ₄ SiO ₄ mM.l^{-1}	Salinité mg.l^{-1}
Archipel nord	687	8,7	2,83	0,86	2,09	1,72	7,50	7,34	(0,40)	(0,15)	7,89	1000-3000	1,06	695
Ilots - bancs nord	725	8,7	2,82	0,82	2,36	1,98	7,98	7,74	(0,35)	(0,14)	8,23	n.d.	1,02	700
Eaux libres nord	407	8,1	1,59	0,47	1,32	1,10	4,48	4,35	(0,23)	(0,07)	4,65	100-1200	0,73	415
Archipel est	237	7,7	0,84	0,24	0,91	0,59	2,58	2,53	(0,11)	(0,05)	2,69	500-1200	1,08	280
Grande Barrière	190	8,0	0,68	0,21	0,66	0,52	2,07	2,03	(0,09)	(0,03)	2,15	n.d.	0,73	216
Archipel sud-est	105	7,4	0,32	0,10	0,44	0,32	1,18	1,15	(0,05)	(0,02)	1,22	100-400	0,64	135
Eaux libres sud	83	7,2	0,28	0,09	0,32	0,24	0,93	0,89	(0,04)	(0,01)	0,94	n.d.	0,50	109
Ilots bancs sud-est	87	7,4	0,24	0,08	0,36	0,29	0,96	0,93	(0,04)	(0,01)	0,98	n.d.	0,53	110
Eaux libres sud-est	58	7,2	0,16	0,06	0,24	0,18	0,64	0,62	(0,04)	moins de 0,01	0,67	10-250	0,41	77
Chari	60	7,3	0,13	0,05	0,20	0,15	0,53	0,52	(0,03)	moins de 0,01	0,56	n.d.	0,37	66

Composés azotés: Seuls quelques dosages ont été réalisés dans l'archipel du sud-est: azote ammoniacal $100 \text{ à } 200.10^{-6} \text{gN l}^{-1}$; nitrates et nitrites inférieur à $40.10^{-6} \text{gN l}^{-1}$; azote "Kjeldahl particulaire" de l'ordre de $1'000.10^{-6} \text{g l}^{-1}$; azote organique soluble, environ $400.10^{-6} \text{g N l}^{-1}$. Les faibles teneurs en composés azotés sont typiques des eaux tropicales.

Oxygène: En période "Tchad Normal", distribution homogène dans toute la colonne d'eau le matin, quand la concentration approche la saturation. Pendant la journée, la concentration augmente en surface (120% saturation) et diminue un peu en profondeur (rarement moins de 80% de saturation). Une stratification peut apparaître pendant les périodes sans vents. La teneur en oxygène à saturation varie entre $9,32 \text{ mg.l}^{-1}$ (18°C) et $7,09 \text{ mg.l}^{-1}$ (32°C).

Des conditions anoxiques sont apparues dans certaines régions en période "Petit Tchad".

Régime thermique: Polymictique tropical.

Régulation saline: Les eaux du lac Tchad restent douces bien qu'il s'agisse d'un bassin endoréique dans lequel s'évaporent les apports des fleuves. Cette relative stabilité de la composition chimique est due à l'action de plusieurs facteurs qui contribuent à maintenir un équilibre entre le stock en sels et le volume d'eau en fonction des variations hydrologiques. La faible salure des eaux dépend de trois facteurs principaux (Carmouze 1976; Gac 1980):

- La faible salure des eaux fluviales ($50 \text{ à } 60 \text{ mg l}^{-1}$) qui est la moitié environ de la salure des eaux lacustres;
- L'importance des pertes par infiltration (7,5% des pertes annuelles en eau) qui permettent d'évacuer une importante quantité de sels.
- Une sédimentation biogéochimique considérable qui touche essentiellement la silice, le calcium, le magnésium, les carbonates, et à un moindre degré le potassium. La séquence des minéraux néoformés et leur nature sont contrôlés par l'importance des flux détritiques (nontronite, calcite faiblement magnésienne et silice amorphe) ou leur absence (calcite magnésienne, silice amorphe et smectites magnésiennes) (Carmouze 1976).

7. Macrophytes (Iltis & Lemoalle 1983)

Les macrophytes émergés sont particulièrement abondants dans le lac Tchad. Vossia cuspidata se développe surtout près du delta du Chari. Cyperus papyrus abondant dans la cuvette sud, disparaît progressivement vers le nord avec l'augmentation de salinité, alors que c'est l'inverse pour Typha australis. Phragmites australis est abondant partout. Cyperus laevigatus, caractéristique des bords des mares salées du Kanem, apparaît sporadiquement dans l'extrême nord du lac.

Lors de la baisse du lac (1973-75) on a observé un important développement de Aeschynomene elaphroxylon, peu abondant en période "Tchad normal".

Dans les zones peu profondes, Cyperus papyrus et Phragmites australis constituent des îles de végétation parfois très étendues. Lorsque le niveau de l'eau monte, ces îles peuvent devenir en partie flottantes.

Certaines parties se détachent alors, constituant des "Kirtas" qui se déplacent au gré des vents et des courants.

La végétation immergée comprend essentiellement des Potamogeton spp Ceratophyllum demersum, Vallisneria spp., Utricularia spp., Nymphaea spp.

En bordure des côtes, on observe des Pycnus mundtii, Leersia hexandra et Cyperus articulatus. Le palmier doum (Hyphaene thebaïca) se développe à la limite des eaux.

La biomasse des parties aériennes des macrophytes émergés a été estimée (en poids sec) à 31 t.ha^{-1} pour Phragmites, 28 t.ha^{-1} pour Cyperus papyrus, $17,5 \text{ t.ha}^{-1}$ pour Vossia et $15,5 \text{ t.ha}^{-1}$ pour Typha. En période "Tchad Normal", la biomasse totale pour l'ensemble du lac était de $7,2.10^6 \text{ t}$ pour les parties aériennes, et 13.10^6 t pour les racines (poids sec). Les macrophytes couvraient alors 2400 km^2 .

8. Phytoplancton

Plus de 1000 espèces d'algues ont été identifiées dans le lac Tchad (Compère 1972-1977). Les Desmidiacées et les Diatomées dominent qualitativement alors que les Cyanophycées jouent un rôle important sur le plan quantitatif (30 à 50% du biovolume algal en 1971-72 (Iltis 1977)).

En période "Tchad Normal", on peut distinguer quatre régions sur la base des peuplements algaux (Iltis 1983):

- Les eaux libres du nord où Closterium aciculare (Desmidiées) domine la majeure partie de l'année; Pediastrum, Botryococcus et Microcystis sont abondants, alors que la diatomée Melosira granulata est absente.
- L'archipel et les îlots bancs du nord-est où dominent les Cyanophycées (Anabaena et Microcystis), alors que Closterium, Botryococcus et Pediastrum sont encore abondants.
- Les eaux libres du sud et du sud-est où les diatomées Melosira granulata et Surirella muelleri constituent l'essentiel du phytoplancton.
- Les archipels de la cuvette sud où les Cyanophycées sont abondantes (Microcystis, Anabaena), occasionnellement Surirella, Pediastrum et Melosira.

Les plus grandes densités ont été observées dans les archipels ($1,4$ à $2.10^{-6} \text{ l.l}^{-1}$), mais la densité est beaucoup plus faible dans les eaux libres de la cuvette sud ($0,03$ à $0,22.10^{-6} \text{ l.l}^{-1}$). La biomasse totale était estimée à environ $40\ 800 \text{ t}$ (poids frais) en 1971 pour l'ensemble du lac ($18\ 000 \text{ km}^2$), soit 6200 t en poids sec si l'on utilise un coefficient de 15%.

Avec la baisse du niveau du lac, le plancton des eaux libres du sud évolue vers un plancton de type fluvial plus diversifié, plus dense et présentant des fluctuations saisonnières bien marquées, avec notamment un développement considérable des Euglènes à l'étiage. Dans les zones d'archipel de la cuvette sud, des mares sont isolées temporairement en période "Petit Tchad". La biomasse atteint 7 à 8 mg.l^{-1} à l'étiage mais décroît avec l'arrivée des eaux de crue. Les Euglénophycées sont

dominantes et les Cyanophycées encore bien représentées. Dans la cuvette nord, on a également observé une augmentation de la biomasse avant l'isolement de cette région. Au cours de la phase d'assèchement, des valeurs de $180.10^{-6} \text{ l.l}^{-1}$ ont été atteintes en novembre 1974 (1658 mg Chl. a). Le phytoplancton était essentiellement constitué de Diatomées et de Chlorophycées.

La biomasse totale (en poids frais) a été estimée à 77 000 t en janvier 1972 ($17\,000 \text{ km}^2$), 183 000 t en mars 1974 (7500 km^2), 187 000 t en novembre 1974 ($10\,000 \text{ km}^2$), 244 000 t en février 1975 ($11\,000 \text{ km}^2$). Ces estimations n'incluent pas le périphyton, abondant sur les végétaux immergés.

Les concentrations en chlorophylle (B, en mg Chl a m^{-3}) et la production primaire ont également été suivies en fonction des conditions de milieu de 1968 à 1976 (Lemoalle 1979). Il a été montré que, dans chaque type de paysage, la concentration du phytoplancton évolue en fonction de la conductivité et de la profondeur. L'ensemble des résultats forme une seule relation:

$$\log B = 0,093 + 0,798 \log (\text{IME})$$

où l'index morpho-édaphique est égal à la conductivité ($10^{-6} \text{ S.cm}^{-1}$) divisée par la profondeur (m.).

- La production optimale horaire ($\text{mg O}_2 \text{ m}^{-3} \text{ h}^{-1}$) était décrite par: $\log A_{\text{opt}} = 1,22 + 1,044 \log B$ pour B compris entre 10 et 10 000 et la production journalière ($\text{mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) valant 9,1 fois la production horaire ($\text{mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) en milieu de journée, la production horaire valant k. A_{opt} DS, où k = 1,2 à 2,07 selon le type d'eau et la période d'évolution du lac, et DS est la transparence (m) mesurée au disque de Secchi.

9. Invertébrés

Zooplancton: Il est représenté par plus de 30 espèces de Rotifères (Pourriot 1968) et de nombreuses espèces de microcrustacés. Durant la période "Tchad Normal" 8 espèces de Cladocères étaient relativement abondantes (Diaphanosoma excisum, Daphnia barbata, D. longispina, D. lumholtzi, Ceriodaphnia cornuta, C. affinis, Moina micrura dubia, Bosmina longirostris) ainsi que cinq espèces de Copépodes: deux Diaptomides (Tropodiatomus incognitus et Thermodiatomus galebi) et trois Cyclopidés (Thermocyclops neglectus, T. incisus circusi, Mesocyclops cf. leuckarti).

Il n'y a pas de variations importantes de la structure des populations dans l'ensemble du lac, mais trois zones ont pu être identifiées en période Tchad Normal sur la base de la densité des organismes et les cycles d'abondance:

- Eaux libres du sud et du sud-est (95 ind. l^{-1} ; 110 mg.m^{-3} ; $0,25 \text{ g.m}^{-2}$) où les variations de densité sont importantes au cours de l'année;
- Archipels et îlots bancs de la cuvette sud (318 ind. l^{-1} ; 333 mg.m^{-3} ; $0,7 \text{ g.m}^{-2}$) où les variations saisonnières sont faibles;
- La cuvette nord (224 ind. l^{-1} ; 216 mg.m^{-3} ; $0,9 \text{ g.m}^{-2}$).

La biomasse totale a été estimée à 12 200 t (poids sec) en 1971, soit $0,81 \text{ g.m}^{-2}$ (Saint Jean 1983).

La croissance et les cycles des principales espèces ont été étudiés (Gras & Saint Jean 1976, 1978, 1981; Lévêque & Saint Jean 1983).

Le rapport P/B annuel est d'environ 23 pour les Diptomides, 63 pour les Cyclopides, 113 pour les Cladocères. La production annuelle était d'environ 860 000 t en 1971 (47 g.m^{-2} poids sec soit 260 kcal m^{-2}). Les herbiers immergés hébergent une faune variée et différente (Dejoux & Saint Jean 1972).

Faune benthique: Elle est représentée par un petit nombre d'espèces pour les oligochètes et les vers, et par beaucoup d'espèces de larves d'insectes.

- Oligochètes: Alluroïdes tanganykae, Aulodrilus remex, Eulodrilus sp., Branchiodrilus cleistochaeta, Allonais paraguayensis ghanensis (Lauzanne 1968).
- Mollusques: Melania tuberculata, Bellamya unicolor, Cleopatra bulimoides, Corbicula africana, Caelatura aegyptiaca, Pisidium pirothi, etc. Dans les herbiers vivent de nombreux Pulmonés (Biomphalaria pfeifferi, Gyraulus costulatus, Bulinus truncatus rohfsi etc.) (Lévêque 1968, 1974).
- Insectes: nombreuses espèces de Chironomides (Chironomus formosipennis, Cryptochironomus stilifer, Tanytarsus nigrocinctus, Polypedilum fuscipenne, Cladotanytarsus lewisi, Ablabesmyia pictipes, Clinotanytus claripennis, Cricotopus scottae), d'Ephéméroptères (Cloeon fraudulentum, Eatonica schoutedeni, Povilla adusta), de Trichoptères (Ecnomus dispar, Dipseudopsis capensis) (Dejoux 1968, 1969, 1970, 1971, 1973).

La répartition des vers et des mollusques benthiques dépend de la nature du substrat et de la salinité des eaux (Lévêque et al. 1983).

En période "Tchad Normal", la biomasse benthique a été estimée à 71 000 t (poids sec). Elle était en moyenne de $3,3 \text{ g.m}^{-2}$ pour les mollusques, $0,3 \text{ g.m}^{-2}$ pour les oligochètes et $0,1 \text{ g.m}^{-2}$ pour les insectes. La production annuelle des mollusques en 1967-1970 était d'environ 280 000 t (poids sec sans coquilles), soit $14,5 \text{ g.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$ ou 58 kcal m^{-2} (Lévêque et al. 1983). La production des oligochètes et des insectes a été grossièrement estimée à $5 \text{ g.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$.

Les bilans énergétiques ont été évalués pour les mollusques benthiques (Lévêque 1973).

La faune d'invertébrés vivant dans les herbiers aquatiques est très différente de celle vivant sur les sédiments (Dejoux & Saint Jean 1972; Lévêque 1975).

10. Poissons

120 espèces de poissons ont été observées dans le lac Tchad et les biefs inférieurs du Chari (Blache 1964). La distribution des espèces dans le lac dépend de la distance par rapport au système fluvial et du type de paysage (archipels, îlots bancs, eaux libres) (Bénech et al. 1983).

En période "Tchad Normal", les zones d'archipel de la cuvette sud sont caractérisées par l'abondance des Alestes baremoze, A. dentex, Heterotis niloticus et des Cichlidae. Ces espèces étaient rares dans les eaux libres où de petits poissons planctivores (Micralestes) servent de nourriture aux grands prédateurs (Lates niloticus, Hydrocynus spp.). C'est sur la côte sud et près du delta du Chari que l'on rencontre le plus grand nombre d'espèces, dont Ichthyoborus besse, Siluranodon auritus et Polypterus senegalus qui sont absents dans le reste du lac.

La cuvette nord est en général moins riche en espèces que la cuvette sud en raison probablement de la salure plus élevée des eaux. Les Mormyridae en particulier et Schilbe uranoscopus ne dépassent pas la Grande Barrière.

Un certain nombre d'espèces effectuent des migrations de reproduction dans le système fluvial et notamment les zones d'inondations. Alestes baremoze, A. dentex, Brachysynodontis batensoda, Distichodus rostratus, Petrocephalus bane, Labeo senegalensis, Hemisynodontis membranaceus et Hydrocynus brevis.

Quelques autres espèces effectuent également des migrations de moindre amplitude: Schilbe uranoscopus, Synodontis schall, Heperopisus bebe, Mormyrus rume et Eutropius niloticus.

Les pêches expérimentales aux filets maillants ont montré que les captures moyennes annuelles étaient plus élevées dans la cuvette nord que dans la cuvette sud; dans cette dernière les eaux libres sont plus pauvres que l'archipel.

A partir de 1973, avec la baisse du niveau du lac et l'établissement d'un "Petit Tchad", on a assisté à une modification profonde des peuplements ichthyologiques liées aux modifications du milieu; mortalités massives de poissons (Bénech et al. 1976), disparition de certaines espèces du milieu lacustre et apparition d'espèces adaptées aux conditions palustres dans l'archipel sud (Polypterus, Clarias, Brienomyrus niger) (Bénech et al. 1983).

La biologie de différentes espèces a été étudiée: Alestes baremoze (Hopson 1968, 1972; Durand & Loubens 1969, 1970, 1971; Durand 1978); Schilbe mystus et S. uranoscopus (Mok 1974-1975); Lates niloticus (Hopson 1968, 1972; Loubens 1974); Citharinus citharus (Bénech 1974); Brachysynodontis batensoda (Bénech 1975); Micralestes acutidens et Ichthyoborus besse (Lek & Lek 1977-1978).

11. Autres vertébrés

Mammifères: Hippopotames, loutres (Aonyx capensis et Lutra maculicollis), Sitatunga (Limnotragus spekei).

Reptiles: Crocodiles, nombreuses espèces de serpents sur les rives.

Oiseaux: Très nombreuses espèces (Malbrant 1936; Vielliard 1971-1972).

12. Activités humaines

La densité de la population est en général très faible autour du lac.

Pêche: Avant 1960, la pêche était peu développée sur le lac et concernait surtout le système fluvial où de nombreuses techniques

Tableau 4.3 Evaluation approximative des surfaces en eau, des rendements moyens annuels et des captures totales dans le lac Tchad entre 1969 et 1977. C.N. = cuvette nord; C.S. = cuvette sud (d'après Durand 1980)

Année	Superficies en eau (km ²)			Rendement (kg.ha ⁻¹)			Capture totale (tonnes)
	C.S.	C.N.	Lac	C.S.	C.N.	Lac	Lac
1969	9 500	9 500	19 000	26	42	34	60 000
1970	9 100	9 200	18 300	31	51	41	75 000
1971	8 500	9 000	17 500	41	97	69	120 000
1972	8 000	8 600	16 600	60	144	104	173 000
1973	4 000	7 500	11 500	98	207	166	191 000
1974	5 000	4 300	9 300	105	406	245	228 000
1975	6 800	1 700	8 500	128	249	152	129 000
1976	7 600	1 200	8 800	112	192	123	108 000
1977	8 600	1 000	9 000	106	186	116	104 000

traditionnelles étaient utilisées. Après l'introduction du filet maillant en nylon en 1963, cette situation s'est modifiée et l'on a assisté à un accroissement rapide de l'effort de pêche dans la zone deltaïque et le lac (Durand 1980-1983). Les captures totales, de l'ordre de 30 à 40 000 t en 1962, sont passées à 75-80 000 t en 1970 et l'effort de pêche a été multiplié par 30. La pêcherie surtout développée dans la cuvette nord, portait principalement sur Lates niloticus, Heterotis niloticus, Citharinus spp., Distichodus rostratus, Labeo spp., Gymnarchus niloticus et Hemisynodontis membranaceus.

Le tableau 4.3 montre l'évolution des rendements et des captures totales entre 1969 et 1977. Les captures importantes en 1974 correspondent à une pêche d'épuisement d'une partie des milieux lacustres en voie d'assèchement (cuvette nord en particulier).

Le rendement de la pêche devrait se situer entre 100 et 120 kg.ha⁻¹ dans des conditions équilibrées d'exploitation (Durand 1980).

Navigation: Les conditions varient avec l'état de remplissage du lac. En période de hautes eaux, il est accessible à des bateaux de faible tirant d'eau. De manière générale, la circulation des hommes et des produits s'effectue sur des pirogues.

Polders: En période de hautes eaux, certains bras de la côte NE ont été isolés par des digues de sable. Après évaporation de l'eau, les matériaux sédimentaires lacustres très riches en matière organique constituent des terres fertiles pour les cultures du blé, du maïs, du coton et de la pomme de terre. Des phénomènes de salinisation de la nappe phréatique limitent cependant ces activités agricoles.

Les aspects socio-économiques du Sud Kanem ont été décrits par Bouquet (1974).

4.2 LACS DU KANEM

par André ILTIS

1. Géographie et Morphologie (fig. 4.9)

Localisation: République du Tchad; province du Kanem.
Entre 13°30' et 14°07' N; 14°10' et 15°04' E.

Altitude: 282 à 300 m.

Superficie: Pratiquement pas de bassin versant (pas d'écoulement en surface). Ensemble de petits lacs et de mares temporaires disséminés sur un erg ancien fixé.

Paysage: Plateau légèrement vallonné.

Morphologie: Dépressions contenant des pièces d'eau salée temporaires ou permanentes d'une surface allant de 2 km² à quelques centaines de m².

Profondeur de l'ordre de 0,5 à 1 m maximum dans les milieux temporaires; 3,5 m maximum dans les lacs permanents (en général, 1 à 2 m).

Tableau 4.4 Caractéristiques de quelques lacs permanents pris comme exemples (Maglione 1969).

Lac	Superficie (ha)	Profondeur (m)	Volume liquide (m ³)
Djikare	20	1,5	300 000
Bodou	37,5	2,0	750 000
Mombolo	40	1,5	600 000
Rombou	15	1,0	150 000
Moïlo	60	2,2	1 320 000
Yoursoula	60	1,8	1 080 000

2. Géologie

Erg ancien, orienté NNW-SSE, envahi au cours des millénaires précédents par plusieurs transgressions du lac Tchad. Durant celles-ci, des sédiments argileux se sont déposés dans les dépressions interdunaires, chacune se comportant comme un bassin endoréique isolé. Les dunes aujourd'hui fixées portent une végétation graminéenne qui se développe fortement en saison des pluies (Dupont 1967).

3. Climat (fig. 4.2)

Type Aw₉ a de la classification de Köppen. Deux saisons d'inégale importance:

- une saison sèche d'octobre à fin juin;
- une saison pluvieuse de juillet à fin septembre.

Durant la saison sèche, on peut distinguer une période fraîche (novembre à fin février) et une période chaude (mars à fin juin).

Insolation: Moy. annuelle (1967) 9 h 07 min. par jour; maximum en octobre (10 h 18 min. par jour); un autre en mai (10 h 06 min. par jour). Minimum en août (6 h 12 min. par jour).

Vent: Deux directions principales:

du NE (harmattan): octobre à avril

du SW (mousson): mai à septembre.

Nombre de jours/an Vents du NE: 102; SW: 100; SE: 44; W : 35; NW: 31; E: 25; N: 14; S: 14.

Pluies: Moy. ann.: 297 mm; max. en août (167 mm); min. de novembre à avril (0 mm); saison sèche 9 mois; saison des pluies 3 mois. Rapport 3/1.

Régime très irrégulier, les variations interannuelles étant considérables : sur 23 ans d'observations, les valeurs extrêmes pour la pluviométrie annuelle sont 46 et 700 mm.

Evaporation: Moy. annuelle: 3200 mm sur bac Colorado enterré. Un maximum en février-mars, un autre en octobre-novembre. Un minimum en décembre-janvier, un autre en août.

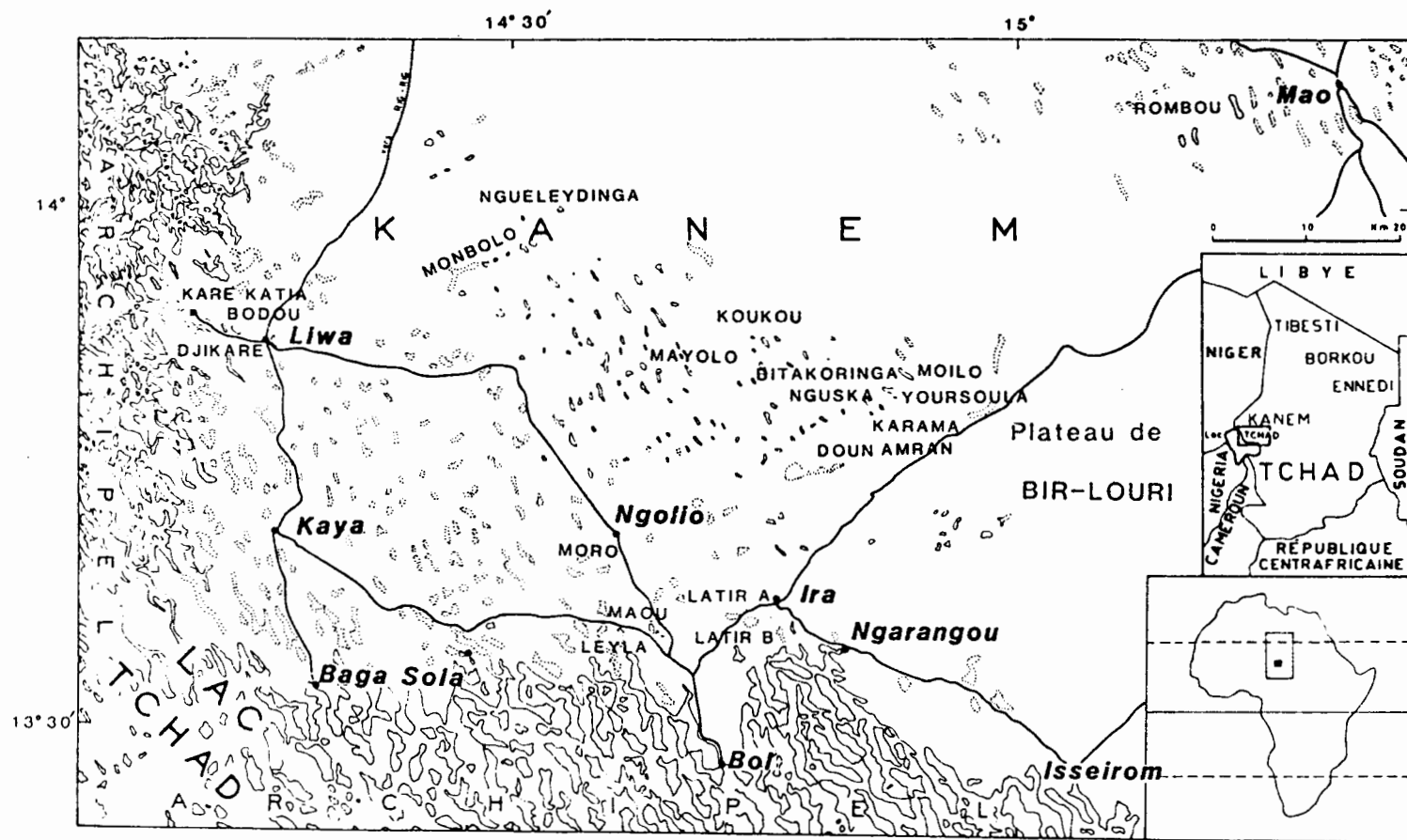


Fig. 4.9 Région du Kanem: situation générale et emplacements des principaux lacs.

Tableau 4.5 Composition chimique des eaux de quelques lacs et mares du Kanem (Iltis 1974).

	Date	Conduct 25° 10 ⁻⁶ S.cm ⁻¹	R. S. mg.l ⁻¹	SiO ₂ mg.l ⁻¹	Ca	Mg	Na	K	Cl (meq.l ⁻¹)	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	pH
Lac de Bodou	01.02.67	35 500	35 820	---	0,7	1,6	462	53,0	49,0	24,7	365	128	9,7
	31.07.67	41 810	42 045	177	0,6	2,1	584	70,0	62,0	32,2	430	192	9,6
Ouadi de Liwa	08.12.67	29 049	---	---	0,2	0,2	410	21,6	54,0	12,4	340	50	9,5
Lac de Rombou	21.03.67	16 149	16 500	---	0,0	0,8	222	54,2	29,0	21,9	134	103	---
	05.11.67	19 075	15 800	490	0,5	0,2	175	24,0	25,0	19,1	160	45	10,4
Lac de Djikaré	31.07.67	16 602	13 602	---	0,8	3,0	159	37,2	10,0	24,2	102	78	9,2
	05.12.67	18 500	14 900	---	0,7	3,3	172	38,0	10,6	30,1	142	62	9,8
Lac de Mombolo	01.08.67	6 164	4 852	215	0,4	0,3	45	17,2	5,0	0,5	29	37	9,4
	05.11.67	5 455	4 290	174	0,4	1,2	46	14,5	5,5	0,3	34	28	10,2
Mare de Latir	03.11.67	98 281	175 000	690	0,0	0,8	1975	550	17,0	1229	1130	100	---
Mare de Maou Leyla	07.11.67	28 996	27 700	690	0,3	0,3	340	46,0	22,0	111,8	188	113	---
Lac de Moïlo	29.06.67	1 300	1 040	---	0,6	2,9	8	2,6	0,7	0	2,4	11,3	8,9
	05.11.67	1 176	927	92	2,0	1,3	7	2,2	0,6	0	1,5	10,7	8,7

Température de l'air: Moy. annuelle: 28° C; max. en mai (32° moy.)
amplitude journalière maximum 18° C; min. en janvier (19° moy.)
amplitude journalière maximum 16° C.

4. Hydrologie

Alimentation par les pluies et les nappes phréatiques du lac Tchad et du Bir Louri (nappe du Chirati). Pertes par évaporation.

En raison des variations interannuelles de la pluviométrie, des mares temporaires peuvent devenir des milieux permanents au cours d'un cycle humide aux pluies excédentaires et inversement au cours d'un cycle sec.

5. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau (tabl. 4.5)

Température (année 1967):

- Minimum absolu 14°2 (janvier)
- Minimum moyen mensuel 16°2 (janvier)
- Maximum absolu 38°5 (octobre)
- Maximum moyen mensuel 33°4 (septembre)
- Un second maximum moyen mensuel 32°6 se situe en juin.

Transparence: min. 2 à 3 cm; max. 73 cm;

pH: min. 8,2; max. 10,8.

Conductivité à 25°C:

- Lacs permanents: min. $300 \cdot 10^{-6} \text{ S.cm}^{-1}$; max. 50 mS.cm^{-1} .
- Lacs temporaires: max.: plus de 100 mS.cm^{-1} .

Total des sels dissous (résidu sec à 105°C):

- Lacs permanents: min. $0,4 \text{ g.l}^{-1}$; max.: 55 g.l^{-1}
- Lacs temporaires: max.: environ 200 g.l^{-1} .

Ions majeurs: Type carbonaté sodique.

Evolution du type bicarbonaté-sodi-calcique (rapport $\frac{\text{Na}}{\text{Ca}} = 2 \text{ à } 7$) dans

les eaux oligocarbonatées, vers le type hypercarbonaté sodique dans les milieux hypercarbonatés (Maglione 1968-1969).

6. Macrophytes

Milieux oligocarbonatés: Bordure à Phragmites australis avec quelques touffes de Typha australia et Cyperus papyrus. Si le milieu est peu profond, Phragmites peut couvrir l'ensemble du milieu. Végétation immergée à Potamogeton sp., Ceratophyllum demersum, Vallisneria spiralis.

Milieux mésocarbonatés et polycarbonatés: Bordure à Phragmites australis souvent en mauvais état physiologique. Bordure à Cyperus laevigatus en dehors de la zone inondée.

Milieux eucarbonatés et hypercarbonatés: Pas de végétation aquatique. Bordure à Cyperus laevigatus en dehors de la zone inondée.

7. Phytoplancton

Dominance des Cyanophycées:

Milieux oligocarbonatés (2,5 g l⁻¹ de teneur en sels dissous): Flore très diversifiée à Microcystis plur. sp. dominant.

Milieux méso-et polycarbonatés (2,5 à 30 g l⁻¹ de teneur en sels dissous): Associations spécifiques à Oscillatoria (Spirulina) platensis, F. minor, O. laxissima, Synechocystis salina, S. minuscula, Chroococcidiopsis cf thermalis, Navicula halophila et Raphidiopsis sp. dans les eaux les moins salées.

Associations à Oscillatoria platensis, Anabaenopsis arnoldii, Anomoeoneis sphaerophora et Cryptomonas sp. dans les eaux les plus salées.

Milieux eu- et hypercarbonatés: Association à Oscillatoria platensis fortement dominant.

Dans les milieux permanents, il existe, pour les salinités supérieures à 2 g.l⁻¹, une corrélation positive entre les valeurs de la biomasse cellulaire d'algues vivantes et la teneur globale en sels dissous du milieu: l'équation obtenue est la suivante: $\log B = 0,63 \log C + 1,85$ où B en 10⁻⁶g.l⁻¹ et C en g.l⁻¹ de sels dissous.

Les biomasses les plus élevées observées dans des lacs hypercarbonatés sont de l'ordre de 1 g.l⁻¹ d'algues vivantes; Oscillatoria platensis est alors le seul constituant de la biomasse.

Dans les milieux temporaires, les variations de volume d'eau selon les apports des pluies ou l'évaporation alliées aux fluctuations naturelles des peuplements entraînent des changements rapides dans les biomasses existant durant la période en eau. Des biomasses cellulaires de plus de 4 g.l⁻¹ sont observées dans certaines mares au cours de la période qui précède directement l'assèchement (Iltis 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974).

8. Invertébrés

Lacs oligocarbonatés:

Copépodes et Cladocères (Genres Moina, Dunhevedia, Simocephalus) sont abondants ainsi que des Rotifères (Genres Brachionus, Keratella, Filinia, Hexarthra).

Larves de Chironomides (Nilodorum fractilobus, Chironomus calipterus), d'Ephéméroptères, de Libellulidés (Genre Diplacodes), des Hémiptères (Genre Povilla) et des Coléoptères sont présents en grande quantité.

Milieux mésocarbonatés et plus concentrés:

Les composants de la faune deviennent moins abondants, Copépodes et Cladocères disparaissant. Trois espèces de Rotifères (Brachionus dimidiatus, B. plicatilis, Hexarthra jenkiniae) se développent

abondamment (plus de 600 Brachionus dimidiatus par millilitre dénombrés dans une mare temporaire) (Iltis et Riou-Duwat 1971). Une quatrième espèce, Cephalodella elmenteita, est plus rare. Sont aussi présents des Ciliés appartenant aux genres Euplotes, Urotricha et Holophrya ainsi que des nématodes aquatiques (Pourriot et al. 1967). Les larves de Culicidae et de Chironomidae sont parfois abondantes. Des coléoptères Dytiscidae et Halipilidae et un Hémiptère, Halicorixa selecta, ont aussi été trouvés (Dejoux 1968-1970).

9. Poissons

Des peuplements piscicoles n'existent que dans les milieux oligocarbonatés : ils sont mal connus et seuls ont été observés Hemichromis bimaculatus, Tilapia sp. et Paraphiocephalus obscurus (Iltis 1974).

10. Autres vertébrés

Présence d'oiseaux (Ardéidés: hérons et aigrettes) (Vieillard 1972) et, rarement, d'hippopotames (Hippopotamus amphibius).

11. Activités humaines

La région du Kanem est peu peuplée (1,6 habitants par km²). Il n'existe pas de ville importante dans la zone considérée.

Les dépressions de cette zone servent très souvent de point d'eau pour les populations fixées ou nomades de la région. La nappe phréatique d'eau douce affleurant au niveau des mares et lacs, des puits peu profonds sont creusés dans les rives exondées, principalement pour abreuver les troupeaux circulant dans le pays.

Le natron, constitué de carbonates et de bicarbonates de sodium et d'un peu de chlorure de sodium, est exploité de façon traditionnelle dans de nombreuses dépressions entièrement ou presque entièrement asséchées de cette région. Les natronnières en exploitation se trouvent principalement dans les cantons de Liwa et de Nguéléa. Le natron est utilisé dans l'alimentation humaine et surtout pour les animaux; il entre aussi dans la composition de médicaments locaux et de teintures pour les vêtements. La production annuelle est de l'ordre de 10 000 t (Bouquet 1974), extraite sous forme de petits blocs et de plaques de 15 à 30 kg. En dehors de la consommation locale, une grande partie de la production est expédiée vers N'Djaména et surtout vers le nord Nigéria.

Les spirulines (Oscillatoria platensis) qui se développent en peuplement très denses dans les eaux poly- eu- ou hypercarbonatées sont récoltées et employées dans l'alimentation humaine (Dangeard 1940). Vendues séchées sous forme de plaquettes plus ou moins régulières ou de morceaux sur certains marchés du Kanem, elles sont utilisées pour la confection de sauces riches en protéines (Léonard & Compère 1967; Iltis 1968, 1971). Les récoltes sont sporadiques et exécutées de façon artisanale. Les quantités récoltées paraissent bien inférieures à la production potentielle de ces milieux.

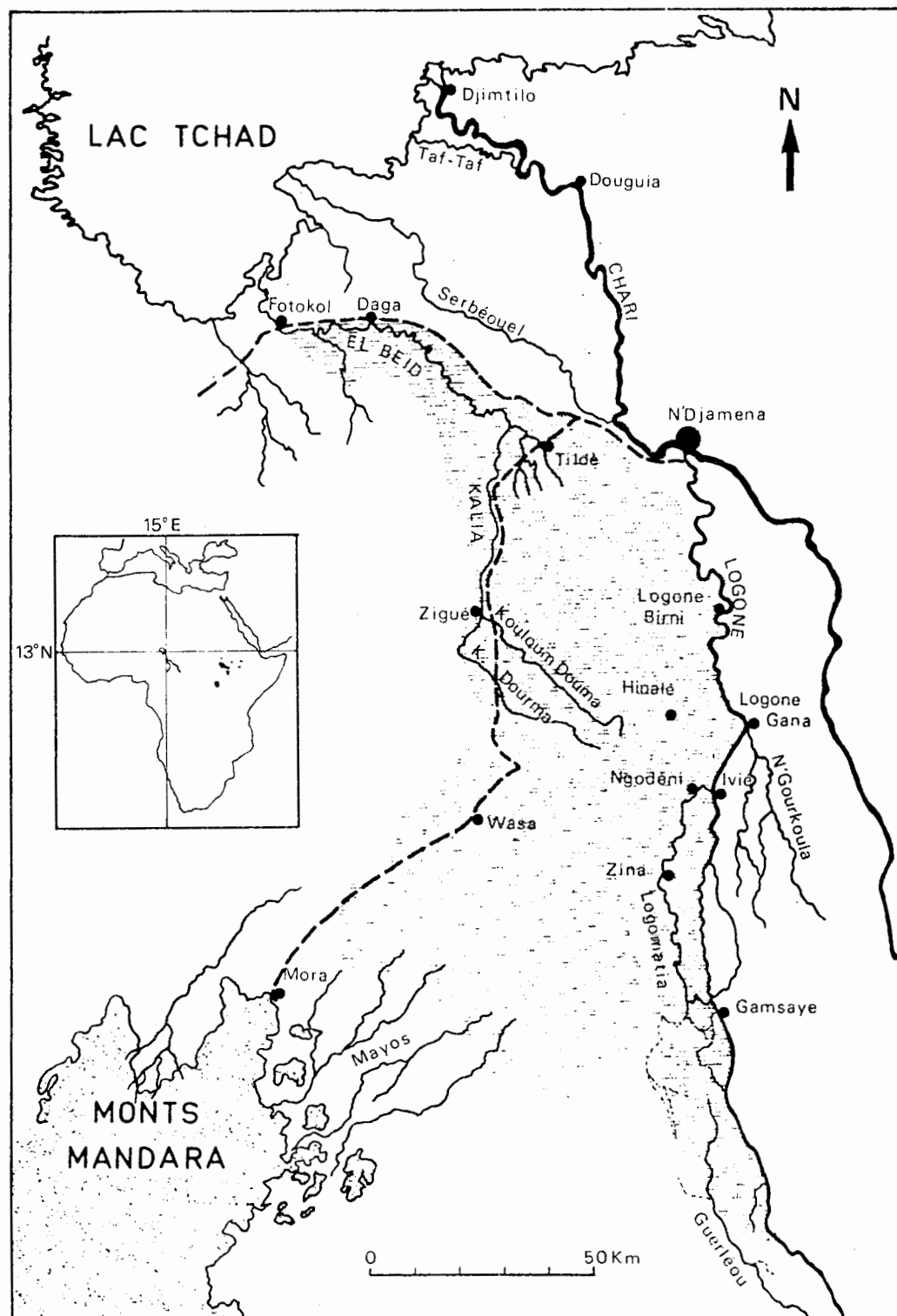


Fig. 4.10 Plaines inondées du Logone: situation générale

4.3 PLAINES INONDEES DU LOGONE

par Vincent BENECH et Christian LEVEQUE

4.3.a YAERES DU NORD-CAMEROUN

1. Géographie et morphologie (fig. 4.10)

- Situation: Le Yaéré est à cheval sur les territoires du Cameroun et du Nigéria, approximativement entre 10°50 et 12°30 N et 14° et 15°20 E. L'altitude moyenne est d'environ 300 m.
- Surface: L'extension maximale est d'environ 8000 km². La superficie inondée et la durée de l'inondation sont très variables en fonction de l'importance de la crue du Logone (Bénech et al. 1982).
- Paysage: Plaine très plate interrompue par des buttes sur lesquelles sont installés des villages et qui portent quelques arbres. Le reste de la végétation est essentiellement herbacé. Il existe quelques dépressions qui constituent des mares en saison sèche.

2. Géologie

Le socle cristallin, seulement visible à l'extrémité sud-ouest sur les versants du massif du Mandara, est en grande partie recouvert de formations fluviolacustres quaternaires qui ont donné naissance à des sols argileux hydromorphes et à des vertisols.

3. Climat

- Insolation: 3142 h.an⁻¹ à N'Djamena (1951-1966). Max. en décembre (310,3); min. en août (182,7)
- Radiation globale: voir lac Tchad
- Pluviométrie: Environ 700 mm par an en moyenne; 550 mm en année décennale sèche, 850 mm en année décennale humide (Touchebeuf de Lussigny 1969)
- Evaporation: Estimée à 1700 mm an⁻¹ (Gac 1980) pour les surfaces d'eau libre
- Température de l'air: voir fig. 4.2, N'Djamena.

4. Hydrographie et Hydrologie

Le Yaéré est essentiellement alimenté par les pluies et les déversements du Logone dans le sud.

Les apports du Logone s'effectuent principalement à partir de deux effluents le Guerléou et le Logomatia qui coulent vers le nord en longeant le cours du Logone (fig. 4.10). Le Yaéré reçoit également au sud des petites rivières temporaires (mayos) descendant des monts du Mandara et qui se perdent dans la plaine.

Dans le Yaéré lui-même, l'écoulement est très diffus et le réseau hydrographique mal organisé, avec de nombreux canaux sinueux et anastomosés. A son extrémité nord, le Yaéré est drainé par l'El Beid qui reçoit la Kalia et qui se jette au sud du lac Tchad. Lors de la décrue, une partie de l'eau est également drainée vers le Logone par le Logomatia.

Le régime d'inondation débute par des précipitations (mi-juillet) qui saturent le sol et font monter le niveau de l'eau de 30 cm environ. L'inondation du Logone ne se fait sentir qu'en septembre et les eaux se retirent dès décembre.

Pour un débit compris entre 700 et 1200 m³.s⁻¹ à Bongor, les eaux de crue du Logone remplissent la totalité du lit du Logomatia ainsi que les dépressions. Au-dessus de 1200 m³, les eaux de crue débordent du lit mineur du Logone pour inonder la plaine, mais l'onde de crue n'atteint l'El Beid que lorsque le débit dépasse 1500 m³.s⁻¹. La dynamique de l'inondation a été décrite par Bénéch *et al.* 1982. Elle varie beaucoup selon les années en fonction de la pluviosité.

La plaine est en général recouverte de 0,7 à 1 m d'eau et encombrée de végétation herbacée rendant la circulation des pirogues difficile. Le bilan hydrologique des Yaérés a été établi par Gac (1980):

- Déversement du Logone: 3,2.10⁹ m³
- Pluies: 8,5.10⁹ m³
- Ecoulement par l'El Beid: 1,15.10⁹ m³
- Evapotranspiration: 10,55.10⁹ m³.

5. Physico-chimie des eaux

Température: Elle a été mesurée dans l'El Beid de 1974 à 1978 (fig. 4.13). Dans le Logomatia, elle est plus élevée en période d'inondation (30 à 32° C) de septembre à octobre, et suit une évolution comparable à celle de l'El Beid au cours de la décrue.

Transparence: Elle a été mesurée en différents points du Yaéré en fonction du cycle hydrologique (fig. 4.11 et 4.12).

Conductivité: Dans l'El Beid à Daga (fig. 4.12), elle varie en fonction du cycle hydrologique entre 100 et 150.10⁻⁶S.cm⁻¹. Pendant la saison sèche, les eaux résiduelles des dépressions du Yaéré se minéralisent progressivement sous l'effet de l'évaporation et leur salure globale s'accroît de 2 à 5. (Roche 1980).

Tableau 4.6 Ions majeurs: Composition chimique des eaux de l'El Beid (még. l⁻¹) (Roche 1980; Gac 1980)

	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	H ₄ SiO ₄ (mg.l ⁻¹)
1968-1969	0,528	0,377	0,488	0,201	--	--
1969-1970	0,429	0,297	0,363	0,104	--	--
1970-1971	0,426	0,308	0,335	0,119	1,19	34,2

D'après (Gac 1980), les eaux qui transitent par le Yaéré perdent une partie de leurs sels en proportion différente selon les ions. D'autre part, 850 000 t de minéraux argileux sont déposés annuellement dans les Yaérés. Lemoalle (1974) a également montré qu'il y avait sédimentation de fer associé aux argiles dans les Yaérés.

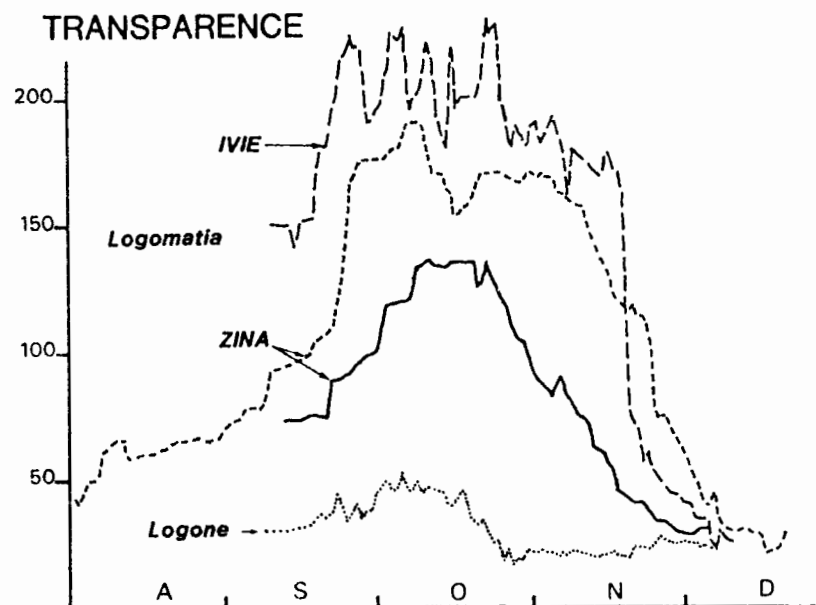


Fig. 4.11 Variations de la transparence en différents points de la bordure est du Yaéré en 1977 (d'après Bénéch et al. 1982)

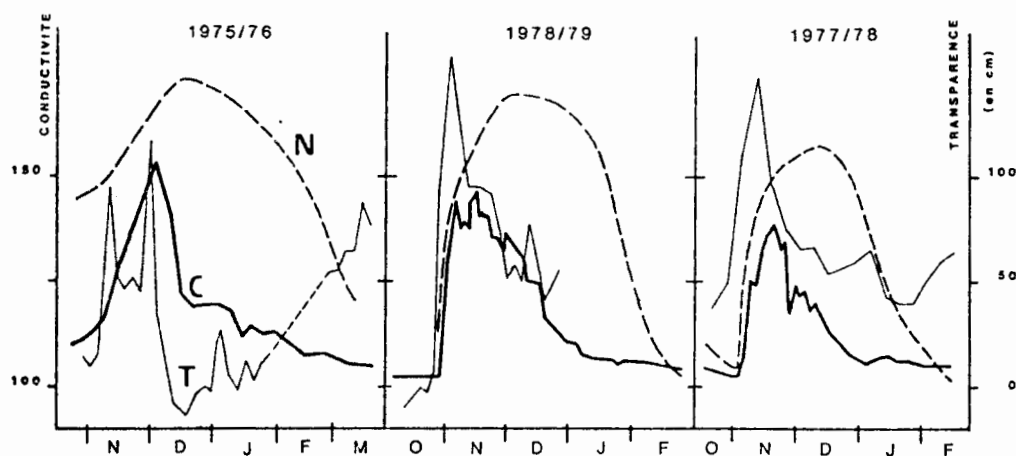


Fig. 4.12 Variations de la transparence (T), de la conductivité (C en 10^{-6}S.cm^{-1}) et du niveau de l'eau (N) au cours de trois crues d'importance décroissante dans l'El Beid à Daga (Bénéch et al. 1982)

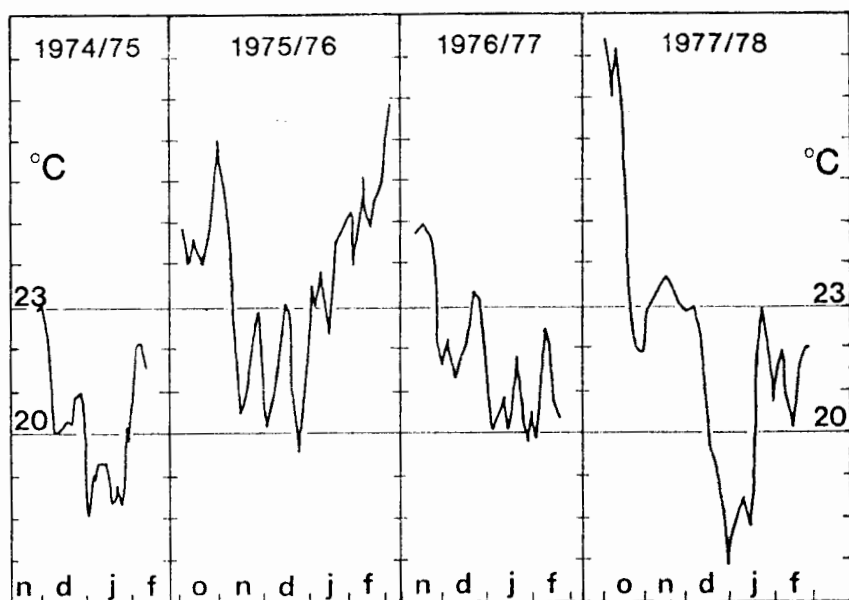


Fig. 4.13 Températures moyennes des eaux de l'El Beid à Daga
(Bénech et al. 1982)

6. Végétation

L'ensemble de la végétation a été décrit par Letouzey (1968), Fotius (1973), Gaston (1974), Gaston & Dulieu (1976b); on se limitera ici à l'essentiel.

- A l'extrémité N des "Yaérés", (au Cameroun, on passe des steppes arbustives à Balanites aegyptiaca et à Acacia seyal exondées, à des steppes arbustives renfermant Acacia campylacantha, A. sieberana ainsi que Sorghum lanceolatum. En station plus hydromorphe, les Mimosées disparaissent et sont remplacées par Mitragyna inermis, seul ligneux présent; Eriochloa fatmensis domine la strate herbacée.
- A l'W des "Yaérés" et toujours au Cameroun, les steppes arbustives à Balanites aegyptiaca et à Acacia seyal exondées font place à une steppe arbustive à Acacia seyal et Sorghum lanceolatum. Elle paraît être naturelle et ne rien devoir à l'action biotique.
- A l'E de la partie camerounaise des "Yaérés", la steppe arbustive exondée est remplacée par Pseudocedrela kotschy et Acacia sieberana, c'est à dire par un type proche de celui qui a été décrit au Tchad dans la plaine de Laï sous la dénomination savane arbustive à Terminalia macroptera et Pseudocedrela kotschy.

Les "Yaérés" au sens strict du terme sont des savanes herbeuses dans lesquelles les ligneux sont absents. A partir du lit majeur du Logone on observe les successions suivantes:

- Savane herbeuse à Eragrostis atrovirens, Panicum anabaptistum, accompagnés de Sorghastrum trichopus, Setaria anceps, Eragrostis barteri, Hyparrhenia rufa

- Savane herbeuse à Hyparrhenia rufa, Echinochloa colona. On y observe également Vossia cuspidata.

A l'extrémité N, dans une région à 600 mm de pluie annuels, la savane herbeuse du Yaéré fait suite à des types de végétation steppique. Plus au S, sous 900 mm de pluie, elle fait suite à une savane arbustive.

Les mares résiduelles sont souvent dépourvues de végétation, cependant certaines contiennent un important peuplement de Nymphaea et d'Utricularia plus rarement de Polygonum.

7. Invertébrés: Aucune donnée

8. Poissons

Communautés: En saison sèche il subsiste dans les Yaérés quelques mares résiduelles de caractéristiques hétérogènes et plus ou moins permanentes. Elles présentent chacune une dominante piscicole nette qui peut être complètement différente d'une mare à l'autre (Blache 1964). On peut cependant dégager un peuplement ubiquiste comprenant les espèces suivantes : Brienomyrus niger, Clarias spp., Synodontis nigrita, Polypterus senegalus, P. bichir, Sarotherodon spp., Tilapia zillii, Barbus gourmansis, Neolebias unifasciatus, Aplocheilichthys spp., Epiplatys senegalensis. Blache, 1964, "ajoute à cette liste Petrocephalus bovei et Pollimyrus isidori mais Lek (1978) n'a trouvé cette dernière espèce que très rarement dans les mares en 1976.

Des espèces communes dans les exutoires au moment de la décrue, notamment dans l'El Beid, sont rares ou absentes dans les mares (Alestes nurse, Hyperopisus bebe, Marcusenius cyprinoides); les jeunes effectuent des migrations dans le Yaéré au moment de la crue. Une migration semblable affecte d'autres espèces qu'on trouve occasionnellement dans les mares sans y être abondantes: Alestes baremoze, A. dentex, Distichodus rostratus, D. brevipinnis, Labeo senegalensis, L. coubie, Brachysynodontis batensoda, Synodontis schall-gambiensis. En revanche les jeunes Eutropius niloticus et Hydrocynus forskalii ne paraissent jamais pénétrer dans les zones inondées.

Les caractéristiques qualitatives et quantitatives des migrations de décrue ont été suivies plusieurs années de suite dans l'El Beid (Durand 1970-1971; Bénech et Quensiére 1982-1983). L'organisation temporelle de ces migrations dépend des phases hydrologiques, lunaires et du nyctémère. Il existe des variations annuelles de la composition spécifique qui sont en rapport d'une part avec l'état des peuplements lacustres, notamment des stocks de migrateurs fluvio-lacustres, et d'autre part avec l'incidence des crues précédentes sur les stocks d'espèces sédentaires du Yaéré. La sécheresse exceptionnelle de 1972-73 qui avait décimé les stocks des mares résiduelles s'est traduite par la raréfaction d'espèces sédentaires telles que Brienomyrus niger en 1974 et le développement des Sarotherodon spp.

Du point de vue quantitatif, le rendement de la pêche dans l'El Beid dépend de l'importance de l'inondation du Yaéré. Les années de forte crue on observe des poids individuels plus élevés et l'individualisation de plusieurs cohortes de jeunes qui correspondent respectivement à un allongement de la période de croissance et de reproduction. Lorsque des conditions hydrologiques exceptionnelles ne

permettent pas la mise en eau des Yaérés, la production du milieu paraît être plus forte que la moyenne lors de l'inondation suivante. Il existe également des variations à long terme de l'abondance de certaines espèces. Ainsi, Xenomystus nigri abondant en 1954-55 avait complètement disparu en 1968-69 et était présent en petite quantité en 1977.

9. Activités humaines

Population: L'intérieur du Yaéré est peu peuplé, quelques petits villages existent sur des buttes naturelles ou artificielles. Les ethnies présentes sont essentiellement les Kotokos du nord du Logomatia et au sud les Mousgoums.

Développement et activités traditionnelles: La région de Yagoua au sud-est a fait l'objet d'opérations d'aménagement de casiers pour la riziculture.

Au sud-ouest, le Parc National de Waza occupe une superficie d'environ un millier de km². C'est un lieu touristique soumis aux réglementations habituelles des réserves naturelles. Ailleurs les activités traditionnelles pastorales et halieutiques se partagent l'exploitation du Yaéré. La production des pêcheries traditionnelles est importante pour l'économie des habitants de la région, elle constitue pour nombre d'entr'eux l'unique source de revenus, la culture du riz étant plus particulièrement destinée à l'autoconsommation (Vidy 1983).

En saison sèche, on pratique des pêches d'épuisement dans les mares résiduelles qui fournissent parfois des rendements spectaculaires. Blache (1964) cite le cas de 8 t de poissons dans une mare de 2000 m².

La décrue donne lieu à des pêcheries très actives sur les deux principaux exutoires du Yaéré: El Beid et Logomatia. Dans l'El Beid 250 barrages de pêche environ sont répartis tout au long du cours et exploités de novembre à février. Durand estime la production de l'ensemble des barrages à 1200 t pour la saison 1968-69. Les pêcheries de l'El Beid sont limitées à un seul engin, le boulou, sorte de filet triangulaire relevé périodiquement et elles exploitent principalement les jeunes poissons de l'année. Les pêcheries du Logomatia exploitent aussi les jeunes poissons mais sont beaucoup plus diversifiées quant aux engins de pêche (filets maillants, filets triangulaires, chambres de captures, lignes à hameçons multiples non appâtés, barrages) utilisés en fonction des phases hydrologiques.

En 1977 et 1978 la production de la pêche de la région du Logomatia s'élevait à 300 t pour chaque saison (septembre à décembre; Vidy 1983). Près de 40% de la production revient aux filets maillants, les filets triangulaires, les lignes et les barrages fournissant chacun près de 20% de la production.

Les poissons sont séchés au soleil avant d'être commercialisés. Les petits sont séchés entiers tandis que les gros sont éviscérés et étalés pour le séchage.

4.3.b PLAINE INONDEE DU BA-ILLI

Un peu en aval de Laï, d'importants déversements du Logone sur la rive droite donnent naissance à une zone d'inondation, le Grand Courant, origine de la rivière Ba-Illi qui rejoint le Logone à Logone Gana, après avoir traversé la plaine comprise entre le Chari et le Logone. Il s'y ajoute les eaux en provenance des deux fleuves en aval des villes de Bongor et de Bousso. Cette plaine est constituée d'alluvions fluviatiles et de sédiments lacustres. L'hydrologie de cette région est assez complexe (Bouchardeau 1968) et de très grandes surfaces sont inondées pendant la crue.

D'après Gac (1980), le bilan hydrologique de la dépression inter Chari-Logone s'établit comme suit:

- Déversement du Chari et du Logone: $2,0.10^9 m^3$
- Précipitations: $5,84.10^9 m^3$
- Ecoulement restitué au Logone: $0,9.10^9 m^3$
- Evapotranspiration: $6,94.10^9 m^3$

Le transit des eaux météoriques et de crue se traduit par une érosion chimique importante (de l'ordre de 80 000 t) et à l'inverse, par un dépôt annuel de sédiments fins détritiques de près de 500 000 t.

4.4. LACS DE LA DEPRESSION DU MAYO KEBI par Christian LEVEQUE

Le Mayo Kebi, affluent de rive droite de la Benoué, fait partie du bassin du Niger. Il constitue actuellement le seul trait d'union entre les bassins du Tchad et du Niger, car il est surtout alimenté par les déversements des eaux de crue du Logone inférieur sur la rive gauche, notamment au niveau d'Eré, qui inondent des surfaces importantes. Ces eaux sont drainées par les rivières Kabia et Loka vers les lacs de la dépression Toubouri (Fianga, Tikem, N'Gara). Près de Bongor, d'autres déversements moins importants (seuil de Dana) alimentent directement le lac de Fianga. Selon l'importance des apports pluviométriques et des volumes déversés, la communication entre les lacs Tikem et Fianga peut s'établir dans un sens ou dans l'autre. Ces lacs Toubouris, succession de marécages et de lacs peu profonds, donnent naissance au Mayo Kebi au lit assez large, coulant en direction Est-Ouest. A hauteur de Mbourao, il traverse une zone rocheuse par une série de rapides et de cascades dont la principale, les chutes Gauthiot, a une dénivellation de 45 m. Il traverse ensuite les lacs Tréné et Léré avant d'atteindre son confluent avec la Bénoué.

Géologie: La région de Léré est un élément de la bordure rocheuse de la cuvette tchadienne. C'est un socle précambrien constitué de roches métamorphiques et de granites. Une transgression du crétacé recouvre localement le socle sur la rive nord du lac. Dans la région comprise entre Fianga et le Logone, on trouve essentiellement des terrains quaternaires constitués d'alluvions anciennes du Logone. Les sols sont hydromorphes.

Climat: (fig. 4.2, Tikem)

- Une saison sèche de novembre à mars.
- Insolation: 3030 h.an⁻¹; max. en janvier (318 h); min. en août (165 h)
- Vents: De N-NE en saison sèche; de S-SW en saison des pluies
- Pluies: En moyenne annuelle: Fianga, 960 mm; Tikem, 900 mm; Léré, 921 mm
- Evaporation: Estimée (non mesurée) à 1900 mm.an⁻¹
- Température de l'air: 27°2 en moyenne annuelle.

Végétation: *Faidherbia albida* en bordure des lacs Toubouris associé à quelques rares arbres (*Khaya senegalensis*). Dans les dépressions marécageuses *Acacia seyal* et tapis herbacé.

Régime hydrologique du Mayo Kebi: De type tropical pur. Hautes eaux de juillet à octobre et basses eaux de janvier à juin, avec un débit presque nul.

4.4.a LACS TOUBOURIS (Fianga, N'Gara, Tikem) (fig. 4.14)

Situation: au Tchad, dans la préfecture du Mayo Kebi;

Tikem: 9°50 N; 15°05 E
 Fianga: 10°N ; 15°10 E
 N'Gara: 9°55 N; 14°44 E

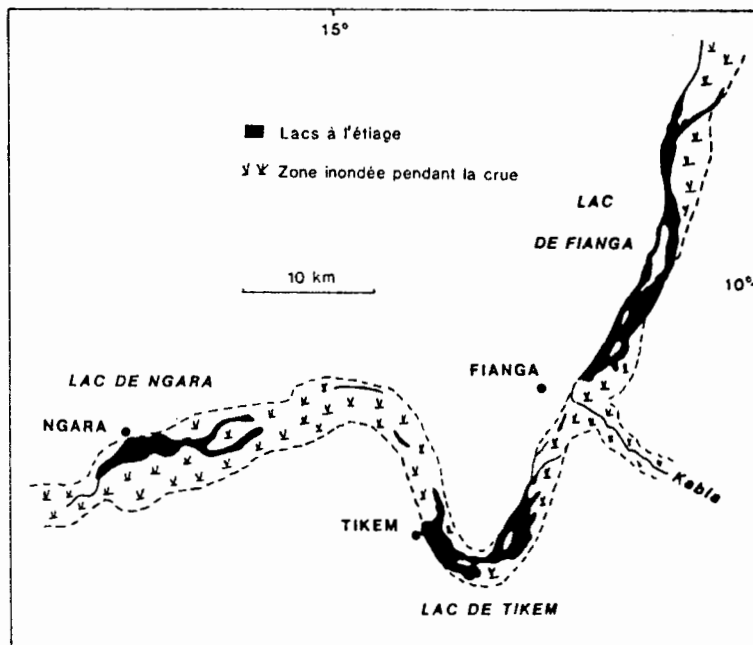


Fig. 4.14 Lacs de la dépression Toubouri: situation générale.

Surface (km²): fonction de l'altitude du plan d'eau

	319 m	320 m	323 m
Fianga		25	119
Tikem		15	62
N'Gara	40	90	142

Morphométrie: La profondeur ne dépasse pas 4 m à l'étiage dans les lacs Fianga et N'Gara, 5 m dans le lac de Tikem

Hydrologie (d'après Bouchardeau et al. 1968) : Le niveau des eaux du lac de Fianga est un peu supérieur à 320 m en période d'étiage (juin-juillet), et dépasse généralement 323 m en crue (septembre-octobre). Celui du lac de Tikem avoisine 319,8 m en étiage (mai-juin) et 322,5 m en crue (septembre-octobre). Le niveau du lac de N'Gara ne varie que de deux mètres environ (entre 318,5 et 320,5). Les lacs sont en crue quatre mois par an (juillet à octobre). La crue est brutale. Il peut y avoir des différences importantes selon les années, entre les niveaux maxima atteints. L'amplitude de la variation interannuelle est de 2 m pour Fianga et 1,5 m pour Tikem.

Activités humaines: Pêche active dans les lacs Toubouris; un projet de barrage sur le Mayo Kebi.

4.4.b. LAC DE LERE

1. Géographie et morphologie (fig. 4.15)

Situation: 9°37' N - 14°10' E; altitude: 231 m; situé à la frontière camerounaise du Tchad sur le cours du Mayo Kebi qui relie le bassin tchadien au bassin du Niger.

Surface: 40,5 km² à l'étiage; peut s'étendre durant la crue avec l'inondation de zones marécageuses situées à l'est et à l'ouest.

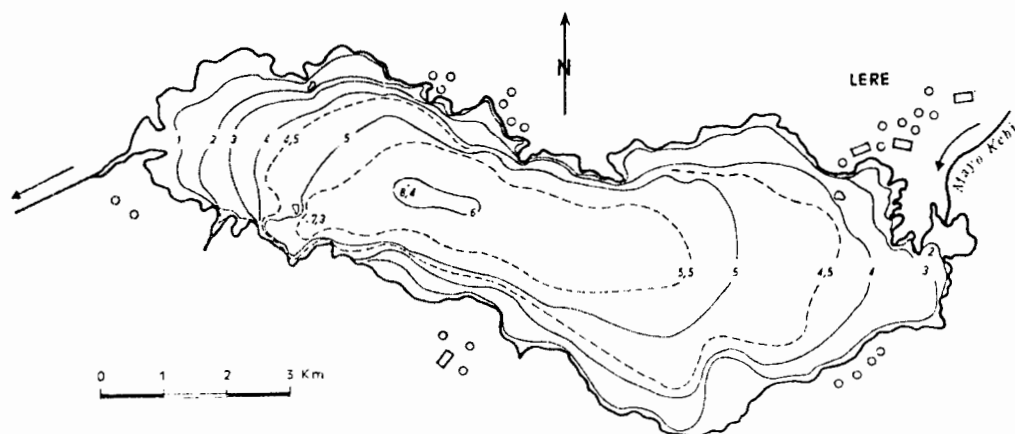


Fig. 4.15 Carte Bathymétrique du lac de Léré.

Morphométrie: Grande cuvette à fond plat orientée d'est en ouest, d'environ 13 km de long sur 5 km de large. La profondeur max. est de 8 m; la profondeur moy. de 4,5 m à l'étiage.

Sédimentologie: La moyenne partie des fonds est occupée par la vase. Un peu de sable grossier sur les bords et au niveau des embouchures des rivières temporaires.

2. Hydrologie

Le lac de Léré est alimenté par le Mayo Kebi après que celui-ci ait traversé le lac de Tréné. Les eaux de crue n'arrivent généralement qu'en octobre à Léré alors que les précipitations locales et les apports par ruissellement atteignent un max. en août. Il en résulte que la crue du lac a une allure bimodale.

Le volume du lac à l'étiage est d'environ 160.10^6 m^3 .

3. Physico-chimie des eaux (Voir Tableau 4.7)

Tableau 4.7 - Composition chimique (még. l^{-1}) des eaux des lacs Fianga, Tikem et de la rivière Kabia en 1974 (Gac, comm. pers.) et du lac Léré en 1970 (Lévêque 1971).

	Fianga	Tikem	Kabia	Léré
pH	7,5	7,15	7,10	8,0
Cond. ($10^{-6} \text{ S.cm}^{-1}$)	85,3	83,0	36	89
HCO ₃	2,27	1,22	0,37	0,90
Cl	0,06	0,07	0,02	-----
Na	0,89	0,21	0,11	0,10
K	0,25	0,12	0,05	0,05
Ca	0,84	0,50	0,16	0,50
Mg	0,52	0,43	0,08	0,22
SiO ₂ (mg. l^{-1})	13,0	20,5	22,0	32

4. Invertébrés

Une quarantaine d'espèces de Rotifères ont été identifiées (Pourriot 1971). Brachionus angularis domine largement dans la zone planctonique. Cette faune est très comparable à celle du lac Tchad. 24 espèces de Cladocères, 11 espèces de Copépodes et un Décapode ont été inventoriés (Gras & Saint-Jean 1971). La faune planctonique est un peu moins diversifiée que celle du lac Tchad. Les formes libres de copépodes parasites étaient abondantes. La faune de Cladocères et de Cyclopides du lac de Léré présente plus d'affinités avec celle du bassin du Niger qu'avec celle du Tchad.

5. Benthos

La faune est en général assez semblable à celle du lac Tchad (Dejoux et al. 1971). Chez les Oligochètes, Branchiodrilus cleistochaeta et Aulodrilus remex constituent l'essentiel de la biomasse. Chez les mollusques, on retrouve Melania tuberculata, Cleopatra bulimoïdes et Caelatura aegyptiaca. Les Chaoborus sont dominants chez les insectes.

La biomasse moyenne a été estimée à environ $2,6 \text{ g.m}^{-2}$ (poids sec, sans coquilles) en février 1970 dont 2 g.m^{-2} pour les mollusques, $0,55 \text{ mg.m}^{-2}$ pour les insectes et $0,05 \text{ mg.m}^{-2}$ pour les oligochètes. Par rapport au lac Tchad, les mollusques sont également dominants, mais les insectes sont plus abondants que les oligochètes.

6. Poissons

Une centaine d'espèces de poissons ont été inventoriés dans le Mayo Kebi (Blache 1964). Dans la région du lac Léré, en aval des chutes Gauthiot, la faune a des affinités avec celle du bassin du Niger.

Dans le lac de Léré, on rencontre des espèces de faciès vaseux (Hyperopisus occidentalis, Brienomyrus niger, Pollimyrus isidori, Mormyrus rume) et de faciès rocheux (Mormyrops deliciosus, Petrocephalus simus, Labeo coubie). On note la présence d'Arius gigas et de Synodontis ocellifer.

7. Autres vertébrés

L'hippopotame et le lamantin (Trichechus senegalensis) sont signalés au lac de Léré. L'étude de l'avifaune (Vieillard 1971) a montré qu'elle n'avait qu'un impact très limité sur l'écosystème lacustre.

8. Activités humaines

La pêche est pratiquée sur le lac (Blache et al. 1962). On ne dispose pas de données statistiques.

4.5 PLAINES INONDEES DU CHARI par Christian LEVEQUE

4.5.a. PLAINES INONDEES DU SALAMAT (fig. 4.16)

Il s'agit en fait d'un complexe de zones d'inondation bordant différents affluents du Chari: le Bahr Salamat, le Bahr Keita et le Bahr Aouk.

L'essentiel de l'information réunie ici provient des travaux de Billon et al. (1974), Pias & Barbey (1965), Pias (1970).

1. Géographie et morphologie

Le Bahr Keita est probablement un ancien bras des fleuves importants qui descendaient autrefois du Darfour. Il sert actuellement de drain à la zone marécageuse située entre le Bahr Salamat et l'Aoukalé.

Le Bahr Salamat prend naissance dans les montagnes du Darfour et son cours amont s'assèche saisonnièrement. Le lit est encore assez profond à une centaine de kilomètres en amont d'Am Timan, et conserve des mares importantes en saison sèche. Puis des pertes importantes se produisent sur la rive gauche vers le Bahr Keita, ainsi que sur la rive droite, alimentant une série de dépressions. L'hydrographie est plus anarchique vers l'aval où le Bahr Salamat alimente une dépression importante, le lac Iro. L'ensemble marécageux au sud d'Am Timan atteint par endroits 200 km de large.

Le Bahr Aouk reçoit très probablement des apports du Bahr Azoum et il y a des communications avec le Bahr Keita. L'hydrologie de cette région n'est cependant pas bien connue.

A l'aval de Birao, le Bahr Aouk draine de nombreux marécages et reçoit sur sa rive droite l'Aoukalé également entouré de zones marécageuses.

La superficie des bassins versants est:

- Bahr Keita à Kyabe: 14 000 km²
- Bahr Aouk à Gologosso : 96 000 km²
- Bahr Salamat à Tarangara: 135 000 km².

Le lac Iro (10°10 N, 19°23 E) a une surface de 95 km² et un bassin de 455 km². Il est entouré par une ceinture de végétation qui rend difficile l'accès aux rives. Il serait le dernier témoin d'une zone lacustre beaucoup plus étendue. Sa profondeur est faible.

2. Géologie

Substrat essentiellement d'origine alluvionnaire. Du point de vue pédologique, les plaines inondées correspondent à des vertisols hydromorphes.

3. Climat (Fig. 4.2, Sahr et Am Timan)

Insolation à Sahr: 2515 h.an⁻¹; vents d'est en saison sèche, de SSW en saison des pluies.

Pluies: moy. ann. 895 mm à Am Timan, 871 mm à Birao, 1118 mm à Sahr.

En année moyenne, la pluviométrie sur l'ensemble des bassins est de:

- 572 mm pour le Bahr Azoum à Am Timan
- 657 mm pour le Bahr Salamat à Tarangara
- 929 mm pour le Bahr Keita à Kyabe
- 967 mm pour le Bahr Aouk à Gologosso

Température de l'air (fig. 4.2, Sahr et Am Timan)

4. Hydrologie

Les débits mensuels moyens des principaux cours d'eau sont représentés sur la fig. 4.17. Il existe une grande variabilité interannuelle et il en résulte d'importantes variations de la surface des zones inondées.

Il est vraisemblable que la mise en eau des plaines inondées débute par les pluies (juin à août) et les apports fluviaux arrivent avec un certain retard (septembre-octobre). L'inondation doit donc s'étendre sur plusieurs mois, mais on ne possède pas de données précises dans ce domaine.

Le lac Iro est alimenté pendant la crue par un bras du Bahr Salamat. En période de décrue, le courant s'inverse. Les variations du niveau du lac sont de l'ordre de 2 m.

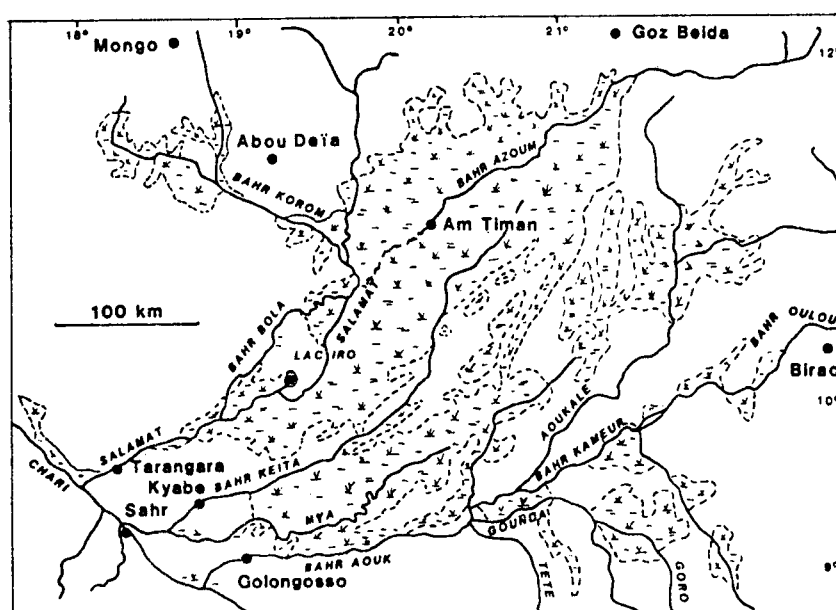


Fig. 4.16 Plaine inondée du Salamat: situation générale.

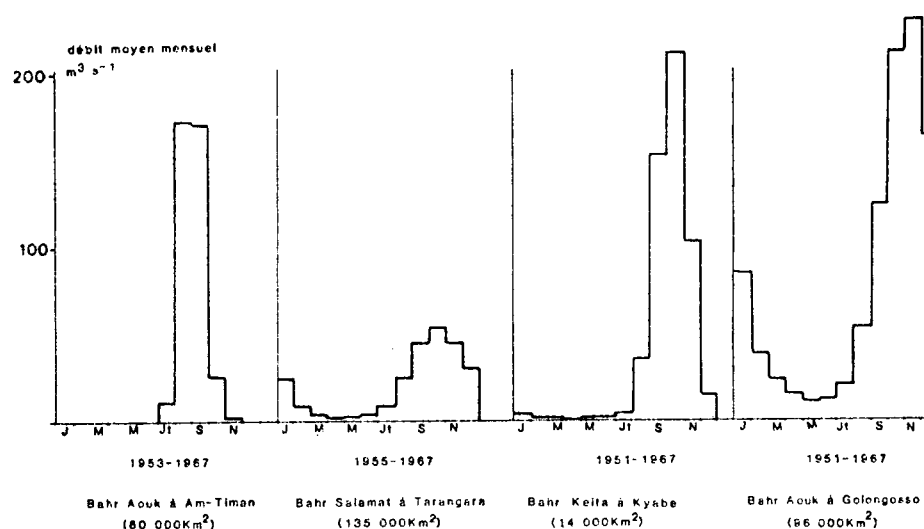


Fig. 4.17 Débits moyens mensuels des principaux cours d'eau de la plaine inondée de Salamat.

5. Physico-chimie des eaux

Pour le Bahr Aouk (Gac 1980) en mmoles.l⁻¹: K: 0,06; Na: 0,136; Ca : 0,102; Mg: 0,085; HCO₃: 0,57; H₄SiO₄: 0,356.

6. Végétation

La plaine inondée est couverte d'une prairie à Hyparrhenia rufa, Cymbopogon sp., Andropogon sp.; dans les bas fonds marécageux: Echinochloa pyramidalis, E. stagnina, Oryza barthii; en eau profonde, Nymphaea lotus. Près du lac Iro on trouve des peuplements d'Acacia scorpioides, et des Acacia sieberiana près de la zone d'épandage du Bahr Azoum.

7. Activités humaines

La population est peu dense et de grandes étendues sont inhabitées. Quelques villages de pêcheurs le long des cours d'eau pratiquent une pêche active. Cette région était le principal fournisseur en poissons séchés de la République Centre Africaine (Blache et Miton, 1962).

Les espèces commerciales sont les mêmes que celles pêchées dans le Chari et le lac Tchad.

Pairault (1966) donne une description détaillée de la vie sociale et économique d'un village proche du lac d'Iro.

4.5.b. PLAINE INONDEE DE MASSENIA (fig. 23)

L'essentiel des informations provient de Billon et al. (1974).

1. Géographie et morphologie

La plaine inondée de Massenia doit son existence au Bahr Erguig qui est alimenté presque exclusivement par les débordements du Chari en face de Miltou. Le Bahr Erguig coule dès que la cote du Chari atteint 3,5 m à Miltou. Il longe le Chari pendant une soixantaine de km puis s'en écarte laissant entre les deux fleuves une zone relativement peu marécageuse. Le Bahr Erguig passe à Massenia et rejoint le Chari entre Mogroum et Bougoumène par un delta submergé en hautes eaux. Cette rivière est bordée sur sa rive droite par une zone marécageuse large d'une vingtaine de km qui peut communiquer avec le Lairi en cas de crue exceptionnelle. La superficie du bassin est estimée à 15 000 km² (Gac 1980).

2. Géologie: Le substrat est d'origine alluvionnaire.

3. Climat (fig. 4.2, Boussa)

Insolation (fig. 4.6): 2750 h.an⁻¹ (moy. sur 5 ans)

Pluviométrie: La moyenne annuelle est de 722 mm à Massenia (19 ans) et de 957 mm à Bouso (24 ans). Le max. est en août.

L'évapotranspiration annuelle serait de 1660 mm (Gac 1980).

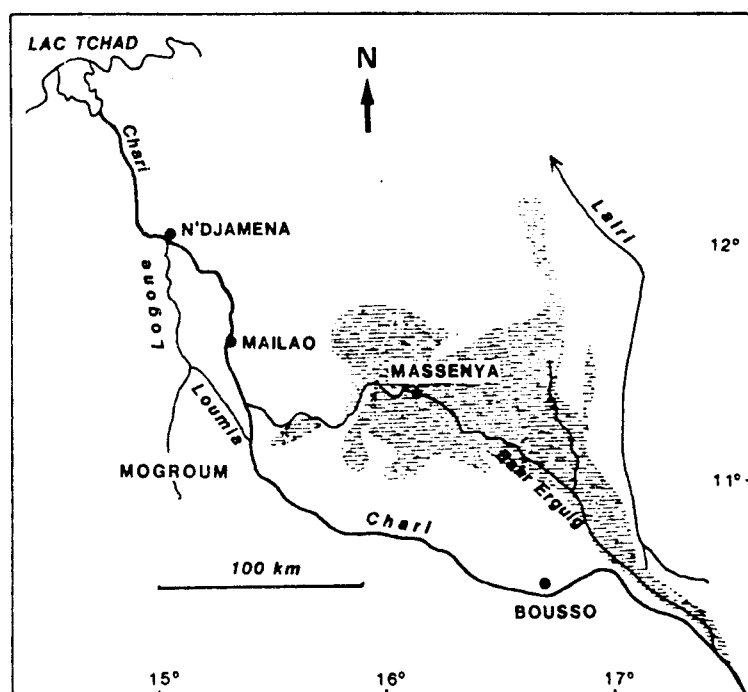


Fig. 4.18 Plaine inondée de Massenya: situation générale.

4. Hydrologie

Le débit moyen interannuel du Bahr Erguig est de $74 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (entre 1,6 et 187) à Miltou et de $49 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (entre 0 et 121) à Massenya.

Le débit max. observé est de $1438 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à Miltou et de $1000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à Massenya.

Le bilan hydrologique moyen a été établi par Gac (1980).

- Apports par le Bahr Erguig:	$1,7 \cdot 10^9 \text{ m}^3$
- Apports par les précipitations:	$11,55 \cdot 10^9 \text{ m}^3$
- Evapotranspiration:	$12,45 \cdot 10^9 \text{ m}^3$
- Ecoulements vers le Chari:	$0,8 \cdot 10^9 \text{ m}^3$

5. Physico-chimie des eaux

Les eaux du Chari pénétrant dans le Bahr Erguig ont la composition suivante en $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (Gac 1980): HCO_3^- : 30,0; Na: 2,9; K: 1,7; Ca: 3,8; Mg: 1,7; H_4SiO_4 : 19,6, soit $59,7 \text{ mg l}^{-1}$. Il y a érosion chimique lors du passage dans la plaine inondée et les eaux qui en sortent sont plus chargées en silice, bicarbonate, Mg et Ca. Elles ont la même teneur en Na et K.

Le pH est voisin de la neutralité.

La dépression de Massenya retiendrait annuellement 240 000 t des matériaux en suspension provenant de l'érosion amont et transportés par les eaux (Gac 1980).

4.6 PLAINES INONDEES DE LA KOMADOUYOU YOBÉ

par Christian LEVEQUE

On possède peu de renseignements publiés sur cette région. Nous empruntons l'essentiel des résultats à Touchebeuf de Lussigny (1969).

1. Géographie et Morphologie (fig. 4.19)

Les zones inondées se situent approximativement entre 12 et 13°N, 9°50 et 11°50 E. Elles occupent une surface d'environ 10 000 km². Le bassin de la Yobé est entièrement situé au Nigeria mais son cours inférieur marque la frontière avec le Niger. La surface totale est d'environ 120 000 km².

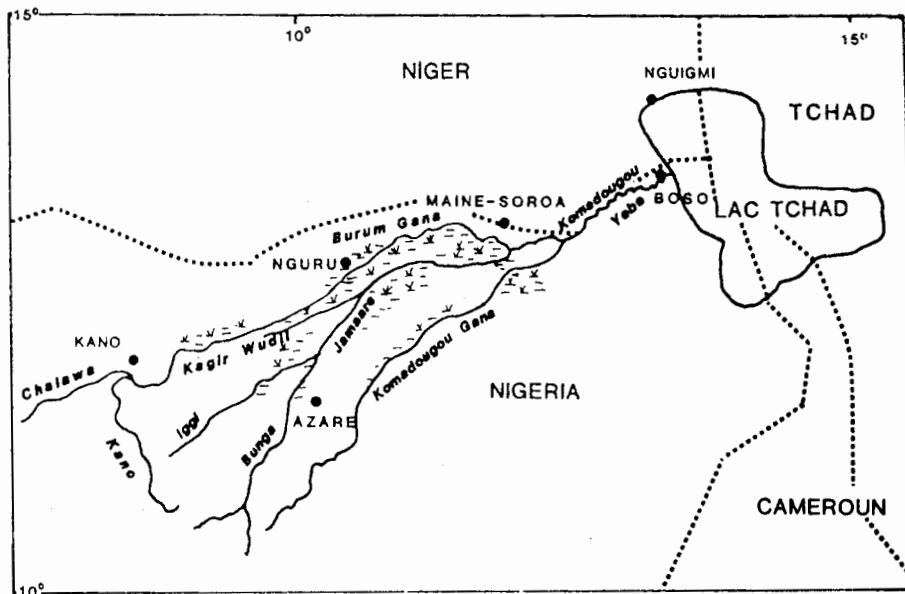


Fig. 4.19 Bassin de la Komadougou Yobé: situation générale.

2. Géologie

Le bassin est en général très plat, recouvert de formations alluviales à prédominance sableuse ou argileuse d'origine fluviatile ou lagunaire.

3. Climat

V. El Beid pour les caractéristiques générales: la pluviométrie est d'environ 800 mm en moyenne interannuelle sur l'ensemble du bassin versant. 855 mm vers Kano, 350 mm à l'embouchure dans le lac Tchad. Pluies de mai à septembre, max. en août.

4. Hydrologie et Hydrographie

La zone marécageuse, traversée par de nombreux bras entrelacés, constitue un delta intérieur. A la sortie de cette zone deltaïque dont le Burum Gana est l'un des principaux bras, la Komadougou Yobé est très affaiblie et reçoit la Komadougou Gana qui traverse elle aussi des zones marécageuses communiquant plus ou moins avec le delta intérieur.

Le cours inférieur est sinueux au milieu d'une plaine d'inondation qui atteint souvent 10 km de large, mais le lit se réduit à proximité de l'embouchure dans le lac Tchad. A la sortie du delta intérieur, le débit moyen est de $21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Il est nettement plus faible à l'embouchure.

5. Physico-chimie des eaux

Yobé: principaux cations (Roche 1980): Ca: 0,341; Mg: 0,216; Na: 0,191; K: 0,066 méq.l⁻¹.

4.7 LAC FITRI par Jacques LEMOALLE

Le lac Fitri peut être considéré comme un modèle réduit du lac Tchad.

On possède peu d'informations sur ce lac. L'essentiel des données provient d'une courte campagne réalisée en décembre 1973 et de documents non publiés du Service d'Hydrologie du Centre ORSTOM de N'Djamena.

1. Géographie et morphologie (fig. 4.20)

Situation: Centré sur 12°50 N et 17°30 E. Préfecture du Batha (Tchad); environ 280 m d'altitude.

Surface: Très variable dans une zone plate. Le lac peut s'assécher presque complètement (en 1973 par exemple, mais aussi en 1901). A son maximum d'extension, il pourrait atteindre 1300 km² (ce fut probablement le cas en 1870). En moyenne: 800 km².

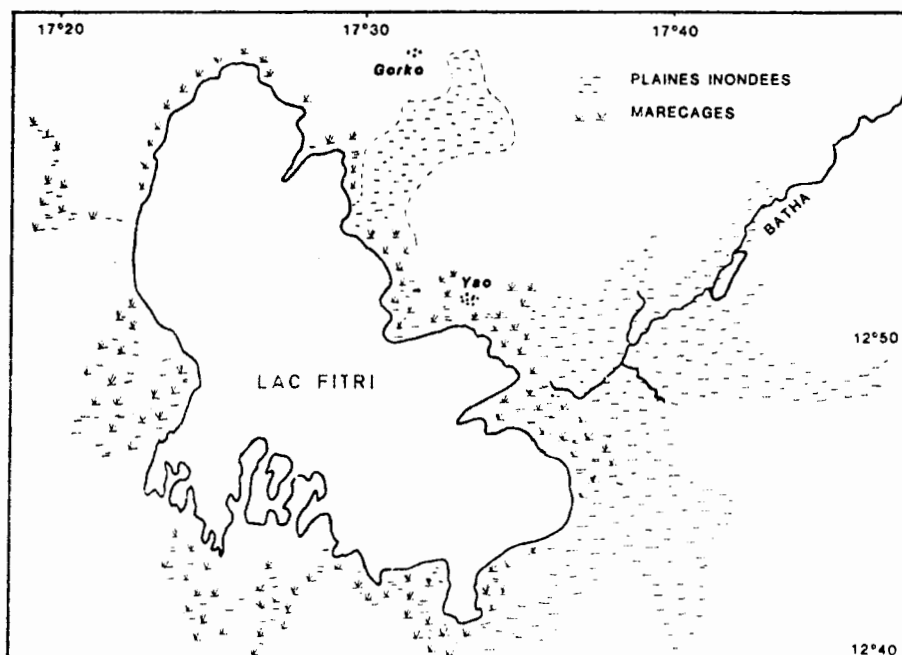


Fig. 4.20 Lac Fitri: situation générale.

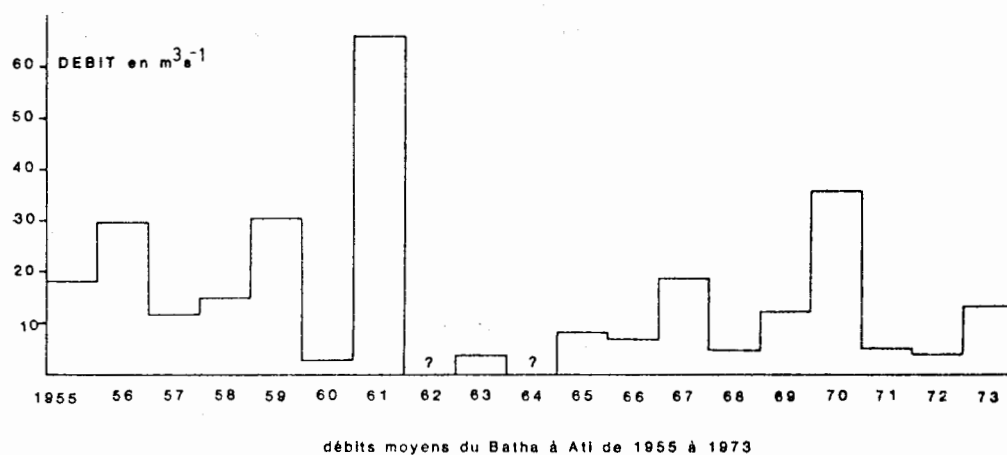


Fig. 4.21 Variations du débit annuel du Batha à Ati entre 1955 et 1973.

Paysage: Très plat. Un rocher isolé près du lac sur lequel est construit le village de Yao. Le lac ressemble à une très grande mare temporaire. Nombreux hauts fonds marécageux.

Dimensions: 30 km environ suivant un axe NW-SE, 15 à 20 km suivant un axe perpendiculaire.

2. Géologie

Le lac Fitri est séparé du lac Tchad par un seuil jalonné de massifs anciens. Il a les mêmes caractéristiques sédimentaires que la cuvette tchadienne.

3. Climat

Dans l'ensemble proche de celui du lac Tchad:

- Pluviométrie: Moyenne annuelle 411 mm à Ati, environ 450 mm sur le lac Fitri.
- Insolation: 3318 h.an⁻¹ à Abéché (1956).
- Vents de SW de juin à septembre et E-NE le reste de l'année à Ati.
- Température de l'air: 28°9 en moyenne à Ati (1956).

4. Hydrologie

Le lac Fitri, de type endoréique, est alimenté principalement par le Batha qui coule 3 à 4 mois par an de juillet à octobre (fig. 4.21). Il reçoit également les apports non négligeables de ouadis en provenance de l'Aboutelfan.

Les apports des affluents du lac varieraient de 0,7 à 2.10⁹ m³.an⁻¹. L'évaporation est un peu supérieure à 2 m.an⁻¹. Pour une surface de 800 km², et compte tenu des pluies, un apport minimum de 1.10⁹m³ est nécessaire pour compenser l'évaporation.

Les variations interannuelles ont la même tendance que pour le lac Tchad, mais elles sont plus accentuées car le bassin du Batha, plus septentrional, est plus sensible aux variations climatiques.

Les variations annuelles du niveau sont de 1,5 à 2 m; maximum en octobre, minimum en mai.

5. Physico-chimie

Conductivité: 100 à 140.10⁻⁶S.cm⁻¹ à 25°C (décembre 1973)

Composition: Semblable à celle du lac Tchad à Bol

Ions majeurs: Carbonate-bicarbonate, Ca, Mg

Transparence: 15-25 cm

Polymictique tropical

6. Macrophytes

De la terre vers l'eau: Phragmites sp. et Echinochloa stagnina sur les bordures, Vossia cuspidata, Aeschynomene spp., Mimosa pigra, puis, dans l'eau, Nymphaea sp. et Ceratophyllum demersum. Pas de Cyperus papyrus (décembre 1973).

7. Phytoplancton

En décembre 1973: Algues vertes coloniales et Microcystis sp.; 20 à 65 mg Chla m⁻³.

8. Invertébrés

Zooplancton: Peu différent du lac Tchad, sauf deux diptomides non déterminés; 8 espèces observées. Le Cladocère Ceriodaphnia cornuta rigaudi était dominant. Mollusques observés dans les herbiers: Bulinus forskalii, B. truncatus rhofsi, Anisus coretus.

9. Poissons

En période de sécheresse, les poissons se réfugient dans les marécages du delta. En décembre 1973, ont été observés les mêmes poissons que dans les marécages de lac Tchad: Clarias anguillaris, C. lazera et Protopterus annectens. Au cours de la saison des pluies précédente: S. galilaeus, Schilbeidae et Synodontis sp.

10. Autres vertébrés

Les crocodiles ont disparu à la fin des années 60, suite à une chasse intensive. Les oiseaux d'eau sont nombreux, semblables à ceux du delta du Chari, y compris les pélicans.

Eléphants broutant les macrophytes émergés.

11. Activités humaines

Hormis quelques pêcheurs et de rares jardins maraîchers sur les rives, le lac Fitri reste entièrement naturel, dans une zone de savane sèche peu peuplée.

La bilharziose est fréquente dans le village de Yao.

SOUTHERN SUDAN

Co-ordinator

SOUDAN DU SUD

Coordonnateur

*Mary J. BURGIS*5.1. THE SUDD
by R.G. BAILEY

1. Geography and Morphology

Location: The Sudd wetland is here considered to include the Bahr el Jebel - White Nile system with its associated lakes, swamps and floodplains lying between Mongalla and Malakal (Figs. 5.1 and 5.3). Lat. 6°-9°30'N and Long. 30°-32°E; Altitude: 380-448 m.

Morphology: The Nile provides perennial inflow into the Sudd (Bahr el Jebel). It descends northwards onto the Sudan plains bringing water from the East African lakes and Equatorial Highlands. From Mongalla it initially flows in parallel channels within a well-delineated, steeply-banked trough. Further out onto the flat, gently northwards-sloping terrain, the lateral restrictions are lost, its pace slackens and spillage results in a broadening belt of wetland. This consists of a complex of braided flowing-river channels and shallow lakes which northwards, becomes increasingly diffuse and ill-defined, in vast tracts of shaded-swamp vegetation. The main channel remains intact however with depths of 5-7, maximally 10 m. At lake No (see 5.2) it receives a minor input from the Bahr el Ghazal (draining a very different catchment to the west) and then regains some water from the central and eastern swamps via the Bahr el Zeraf. The river is now called the White Nile or Bahr el Abiat. It flows eastwards in a clearly defined trough with a narrow floodplain before resuming its northward passage below the Sobat confluence.

2. Geology

The major wetlands and shallow water-bodies of the Southern Sudan are located in plains which occupy a broad tectonic depression infilled by fluvial and lacustrine sediments. These gravels, sands and heavy black clays, belong to the Umm Ruwaba formation of uncertain age (? Tertiary and Pleistocene) and depth (more than 200 m) (Berry in Rzoska 1976). The plains are encircled to the south by the Equatorial Highlands and the Ethiopian plateau.

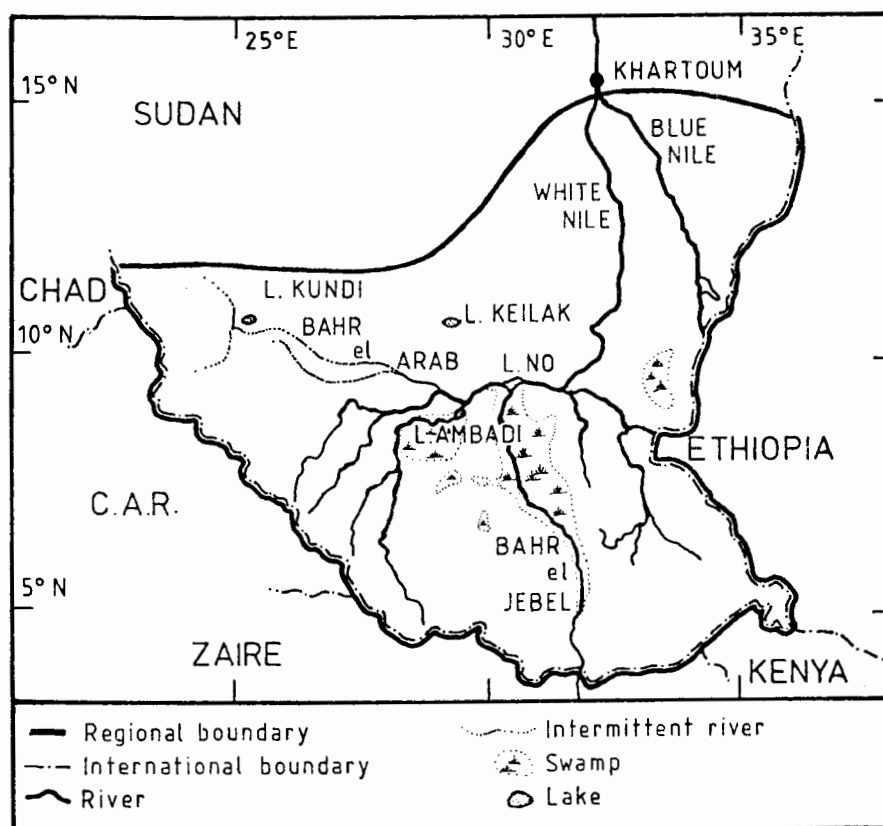


Fig. 5.1 General map of the area included in Region 5.

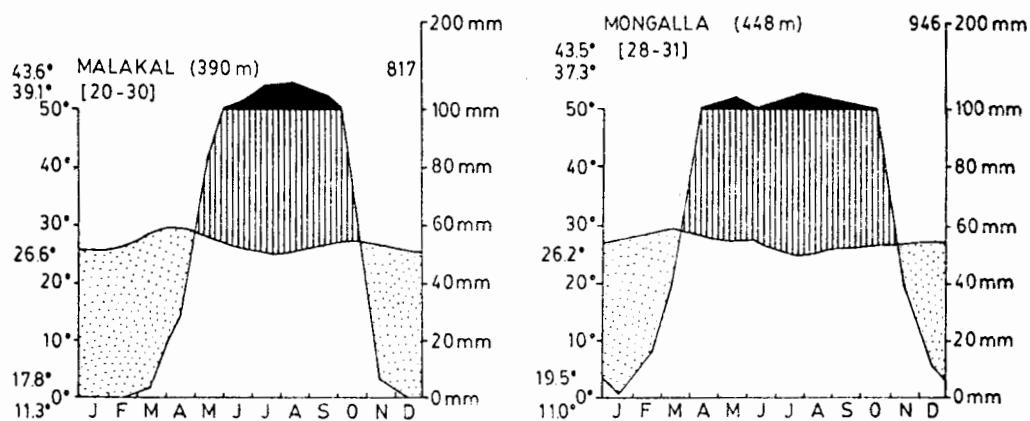


Fig. 5.2 Climatic diagram for Mongalla, at the southern extremity, and Malakal, at the northern extremity of the Sudd.

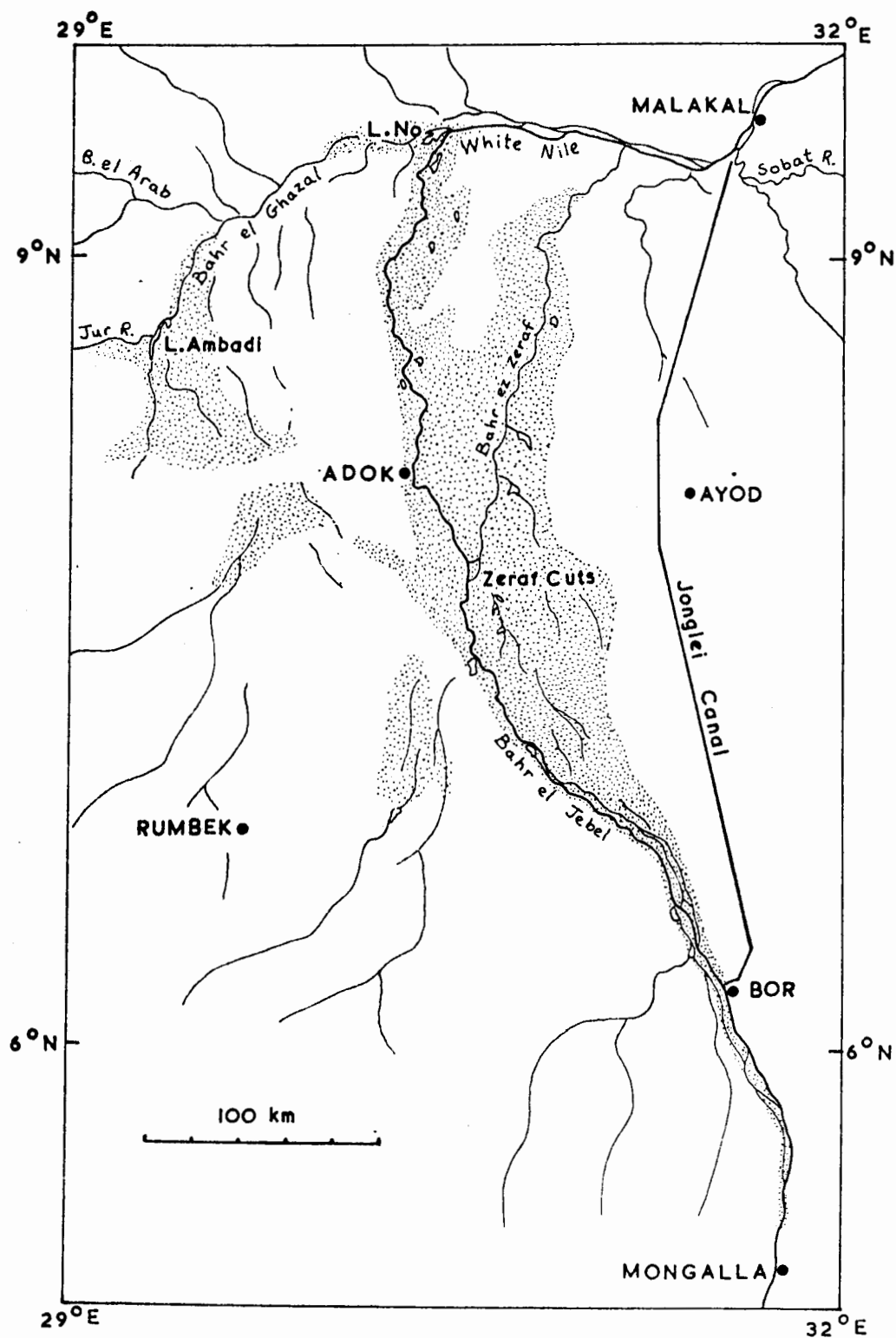


Fig. 5.3 Map of the Southern Sudan Plains to show the Sudd, Jonglei Canal and Lake No, and Lake Ambadi in the Bahr el Ghazal system. (Stippling indicates the approximate areas of permanent swamp.)

3. Climate

Unless otherwise indicated, the data given are derived from the Sudan Meteorological Department for 1941-70 at Malakal (9°31'N, 31°40'E) and Bor (6°18'N, 31°34'E). Summarising climatic diagrams from Walter & Lieth's Climatic World Atlas (1960-67) are given for Mongalla and Malakal in Fig. 5.2.

Köppen code: Aw₆

Insolation (hr): mean per year at Malakal 2,847; month of maximum: December (328); month of minimum: July (142).

Solar radiation ($\text{Jm}^{-2}\text{d}^{-1}$): mean at Malakal 67.5; month of maximum: April (74.5); month of minimum: July (59.5).

<u>Wind</u> (m.sec^{-1}):	Malakal	Bor (1977-81)
mean monthly	2.77	1.18
month of maximum	Feb/Dec 3.98	Dec 1.97
Month of minimum	Sept 1.74	July 0.75

Highest average windspeeds occur between December and April in the dry season. Winds are mainly from the north-east and often dust-laden. Lowest average wind speeds occur between July and September in the wet season. Winds are variable but predominantly southerly (Mefit-Babbie 1983).

<u>Rainfall</u> (mm):	Malakal	Bor
mean annual total	787	905
month of maximum	Aug 167	July 142
month of minimum	Dec-Feb 0	Dec 4

Recorded annual totals over the area as a whole range between 730-920 mm. Maximum annual totals more than 1,000 mm; and minimum annual totals less than 600 mm have been recorded. Rainfall periodicity: wet season - May to October; dry season - November to April.

<u>Evaporation</u> (mm):	Malakal	Bor
mean annual total	2008	2150
month of maximum	March 205	Dec/Jan 217
month of minimum	Aug 133	July/Aug 140

Evaporation rates in the Sudd swamps approximate to those for open water with a value similar to that recorded above for Bor (Sutcliffe & Parks 1982).

<u>Air temperature</u> (°C)	Malakal	Bor
mean monthly	27.8	27.4
month of maximum	April 31.1	March 29.7
month of minimum	July/Aug 26.1	Sept 25.3

Data for Nyany (6°52'N, 31°25'E): 1981-82 (Waring for Mefit-Babbie 1983)

	mean daily maximum & range	mean daily minimum & range
warmest month: March	38.5 (35-44)	23 (18.5-26)
coolest month: Aug	31 (27-34)	21 (19.5-22.5)

4. Hydrology

The hydrology of the Sudd is characterised by the effects of both long-term and seasonal variations in the inflow of the Nile. Long-term variations in discharges from the East African lakes are well-documented if not satisfactorily explained. During this century they increased sharply, if briefly, in 1916-18, and then again in 1961, for a protracted period which has continued up to the present time. The recorded mean annual inflows and outflows of the Sudd, before and after 1961 are (Mefit-Babbie 1983):

	Inflow at Mongalla (m ³ .10 ⁶)	Outflow at Malakal (excluding Sobat discharge)
1905-1960	26,831	14,158
1961-1980	50,324	21,387

The marked diminution in volume at the end of the swamps relative to the inflow is indicative of the high evaporative losses which occur in the Sudd. Note that whereas the mean inflow since 1961 has increased by a factor of 1.88, the outflow has only risen by 1.51, which may be attributed to evaporation from the enlarged areas of open water and swamp. Sutcliffe & Parks (1982) provide the only available hydrological model of the system and show how the area of perennial swamp has a positive correlation with discharge into the Sudd. For example during low discharges in 1950-52 the permanently inundated area of the Sudd downstream of Mongalla was estimated at c. 3,000 km² compared with 16,500 km² in 1980 during the current period of high river flow.

Seasonal variations in the inflow result from annual fluctuations in the discharges from the great lakes and affluents of the Bahr el Jebel between them and Mongalla. High inflows commence in April or May and, with some variations, persist until November. The outflow has a damped seasonal cycle and therefore remains relatively constant. An important consequence of seasonally high flows is an annual overspill from the permanent aquatic system which floods large areas of grassland, especially to the east and on Zeraf Island. It is also probable that some water leaks westwards into the Bahr el Ghazal catchment at this time. Flooding normally coincides with the wet season, but rainfall may seal the black "cracking" clays on the alluvial plains in advance of the flood. Moreover flooding in the eastern grasslands may be enhanced by the "creeping-flow" of rainfall run-off from the south along almost imperceptible north-westerly gradients. The total area of seasonally river-flooded grasslands downstream of Mongalla was estimated at c. 15,500 km² in 1980 compared with ca. 11,000 km² in 1950-52 (Mefit-Babbie 1983). Very little water returns to the permanent aquatic system from the eastern

floodplain which rapidly dries out except for some pools of standing water which may persist well into the dry season.

3. Physico-chemical characteristics of the water

Considerable spatial and seasonal variations in physico-chemical characteristics are apparent in the recorded data from the Sudd.

a) Main channels: a number of longitudinal surveys have demonstrated the influence of riverain swamps during the Sudd passage (Talling 1957; Bishai 1962; Kurdin 1968; Prosser for Mefit-Babbie 1983).

Temperature: 22-30°C.

Secchi disc transparency: 0.17-1.90 m. Transparency is greatest during the dry season but at all times it generally increases through the system as turbidity is reduced.

Conductivity: $150-360 \cdot 10^{-6} \text{ S.cm}^{-1}$ (20°C).

Total alkalinity: $1.14-2.90 \text{ meq.l}^{-1}$

Higher values occur in the dry season. Evaporation losses in the Sudd may be expected to increase conductivity and alkalinity during the river passage and this is so in data for the wet season and one of two dry season studies. Sobat flood water has a marked dilutant effect and conductivities downstream of the confluence may fall to less than $100 \cdot 10^{-6} \text{ S.cm}^{-1}$.

pH: 6.7-8.4

O₂ % saturation: 10-87

CO₂: $0.5-25.0 \text{ mg.l}^{-1}$

Processes of decomposition in the swamp result in lowered dissolved oxygen and pH, and raised carbon dioxide levels in the first half of the river passage, but further downstream an improvement occurs. Talling found that deoxygenation of river water was more strongly developed in the period of high flows and rain, possibly as a consequence of swamp flushing.

Ca: 4- 9 mg.l ⁻¹	Si: 1-14 mg.l ⁻¹	PO ₄ P: 5-140.10 ⁻⁶ g.l ⁻¹
Mg: 3-10 mg.l ⁻¹	SO ₄ : 0.5-10.0 mg.l ⁻¹	NO ₃ N: 6- 60.10 ⁻⁶ g.l ⁻¹
Cl: 3-12 mg.l ⁻¹	Fe: 50-1300.10 ⁻⁶ g.l ⁻¹	NH ₃ N: 6-110.10 ⁻⁶ g.l ⁻¹

Silicon, total iron and ammonia show an increase during the river passage through the Sudd, whereas nitrate, phosphate and sulphate especially, generally decrease in concentration.

b) Lakes and swamps: Open-water bodies have increased considerably since the 1960s so that a range of "lake" conditions now occur in the Sudd. These vary from short-retention widenings of river channels to extensive basins with river connections but long retention times; and from sheets of apparently isolated standing water to swamp pools. All are shallow, less than 3 m deep, with recorded values for other parameters generally falling within the ranges given above for main channels.

A southern river-lake investigated by Prosser (for Mefit-Babbie 1983) exhibited a short, turbid and dilute flood-phase, followed by a longer lake-phase with higher transparency, pH and total dissolved solids but some reduction in plant nutrients, notably phosphorus. Swamp enclosed lakes, and swamp-influenced water in river-associated lakes, have extreme clarity for much of the year, with raised

conductivity, alkalinity, phosphate, ammonia and CO_2 , combined with depressed pH, silicon, sulphate and dissolved oxygen (where submerged plants are absent).

Lake waters may become supersaturated with O_2 over prolific beds of submerged vegetation and fall to 10-20% saturation beneath mats of floating plants.

c) Interstitial swamp water presents another reducing environment with impoverished O_2 , and high CO_2 and ammonia concentrations. It is possible that as a result of the increased quantities of water passing through the system since 1961, less extreme levels of deoxygenation overall are currently experienced in the Sudd (Mefit-Babbie 1983).

Transient oxygen depletion accompanies seasonal flooding of grasslands before algal associations develop. Pools left by the receding floods become increasingly turbid and concentrated with conductivities reaching between $500-1000.10^{-6} \text{ S.cm}^{-1}$.

4. Macrophytes

Shaded swamp gives the Sudd its distinctive physiognomy. Cyperus papyrus forms a central riparian belt the breadth of which diminishes from south to north. Outside this in the middle and north lie tracts of Typha domingensis which have spread enormously since the early 1960s. Vossia cuspidata and Phragmites karka are also found in waterside fringes. (Lock for Mefit-Babbie 1983; Denny 1984). Richhornia crassipes, first recorded in the Nile in the 1950s (Gay 1968) has extensively invaded the Sudd. It fringes main channels and lakes taking over the niche formerly occupied by Pistia stratiotes. It also blocks minor channels, forms rafts on rivers and large circular islands on lakes.

Submerged and floating-leaved macrophytes in lakes include Ceratophyllum demersum, Najas pectinata, Vallisneria sp., Ottelia ulvifolia, O. scabra, Nymphaea lotus, Trapa natans and Potamogeton sp.

In the seasonally river-flooded grasslands, Vossia and Echinochloa occupy areas inundated for the longest period, but overall Oryza longistaminata predominates (Mefit-Babbie 1983).

The productivity of papyrus in the Sudd is high and probably matches the value of $10,000-12,000 \text{ g.m}^{-2}\text{yr}^{-1}$ determined for Uganda swamps (Thompson 1977). By contrast the few data available suggest that Typha production is much lower than has been recorded elsewhere. Oryza production has been estimated at around $550 \text{ g.m}^{-2}\text{yr}^{-1}$ (Lock & Goldsworthy for Mefit-Babbie 1983).

5. Algae

A sparse phytoplankton in flowing waters comprises long-term river elements dominated by Melosira granulata and Lyngbya limnetica (Prowse & Talling 1958) and generally short-term lake or swamp-generated elements, for example pennate diatoms, desmids and dinoflagellates, flushed out in the flood-phase (Prosser for Mefit-Babbie 1983). Lakes contain a richer plankton than river channels in general, although recorded standing crops vary widely (less than 1 to $144.10^{-6} \text{ g chlorophyll a l}^{-1}$) depending upon lake type and season. Rich periphytic assemblages of diatoms and cyanophytes are associated with submerged macrophytes, notably Najas.

Algal production in Sudd lakes appears to be nutrient, rather than light, limited.

A succession of mobile and epiphytic algal communities develop in the pools on seasonally flooded grassland, amongst which euglenoids, desmids and filamentous green algae are important (Mefit-Babbie 1983).

6. Invertebrates

Zooplankton collections in river channels and lakes comprise up to six cladocerans, including Diaphanosoma excisum, Daphnia barbata and Moina dubia; 2-6 copepods, including Thermocyclops neglectus, Thermodiaptomus galebi and Tropodiaptomus spp.; and about 24 rotiferans of which Brachionus, Lecane, Keratella and Filinia appear to be the most species-rich genera (Rzyska 1974; Monakov 1969; Mefit-Babbie 1983). Recorded standing crops are highly variable ranging from 600-600,000 individuals m^{-3} ; 0.001-0.246 $g.m^{-3}$; with the lowest values coming from flowing water. Copepods usually predominate in net samples; cladocerans are more frequently found in plankton from lakes and backwaters.

Fringing vegetation may support diverse communities of small crustaceans, including cladocerans (34 spp., Rzyska 1952), copepods, ostracods and the conchostracan Cyclestheria hislopi.

Pools in flooded grasslands develop large populations of microscopic life, ciliates and testate amoebae, while recorded mean densities for rotifers and small crustaceans combined, ranged between 1,100-2,350 l^{-1} (Litterick for Mefit-Babbie 1983).

Zoobenthos: samples from river and lake beds indicate an impoverished zoobenthos of oligochaetes, chironomid larvae and, in lakes only, molluscs. Monakov (1969) gives some biomass data; 0-0.2 $g.m^{-2}$ in the main channels; 1.0-4.7 $g.m^{-2}$ in lakes. By contrast bottom-feeding fish may have guts filled with chironomids, chaoborids and bivalve molluscs (Mefit-Babbie 1983). In addition Odonata, Ephemeroptera, Trichoptera, Hemiptera, Diptera, water-mites, gastropods, leeches and the larger crustaceans, Caridina nilotica and Macrobrachium niloticus, contribute to recorded fresh-weight biomasses ranging from 5 - 12 $g.m^{-2}$.

Interstitial swamp water contains air-breathing or oxygen-thrifty species of Coleoptera, Hemiptera, Diptera and pulmonate gastropods. Beetles again predominate in a diverse insect fauna, which includes culicids, on the floodplains. Sixty-three mosquito species occur in the Sudd of which 47 are true swamp-breeders (Lewis in Rzyska 1974). Molluscs, some of which overcome the dry period by aestivation e.g. Pila spp., are also important in seasonal habitats.

7. Fish

About 100 species of fish have been recorded from the Sudd region (Sandon 1950) including 31 siluroids, 16 characoids, 14 cyprinoids, 11 mormyrids, 8 cichlids and 7 cyprinodontids.

Sixty-six species were identified in catches from a recent survey (Hickley & Bailey for Mefit-Babbie 1983) of which 61 occurred in

rivers, lakes and fringing vegetation. Most numerous were Alestes dentex, Hydrocynus forskahlii, Synodontis frontosus, Eutropius niloticus, Auchenoglanis biscutatus, Oreochromis niloticus, Citharus latus, Distichodus rostratus, Labeo niloticus, Mormyrus cashive, Heterotis niloticus, Lates niloticus and the smaller species, Micralestes acutidens and Chelaethiops bibie. Except for zooplanktivores, representatives from all strata in the trophic spectrum were found with a predominance of omnivores and carnivores. Submerged plants provide food for herbivores and the extensive root mats of water hyacinth afford cover and browsing for smaller fishes, including the juveniles of several larger species.

Of sixteen species associated with papyrus and Typha, Polypterus spp., Heterotis spp., Gymnarchus niloticus and Clarias spp (known or believed to be air-breathers) may penetrate the swamps, and the tiny cyprinodontids, Aplocheilichthys spp and Epiplatys spp., inhabit "interstitial" pools.

Twenty-two species were recorded in the eastern, seasonally river flooded grasslands, including Protopterus aethiopicus, Polypterus spp., Heterotis spp., Clarias spp., Channa obscura and a variety of smaller fishes, notably Barbus spp., anabantids, cyprinodontids and cichlids (including juvenile tilapias). Of these most are insectivorous but larger fishes are in part piscivores.

The majority of Sudd fishes spawn in the permanent system but Protopterus, Polypterus, Heterotis and Gymnarchus nest in the permanent and seasonal swamps, and amongst the grassland invaders, clariid catfishes and many of the accompanying small species, are intent on spawning.

8. Other vertebrates

i) Amphibia and Reptiles: At least 9 species of frogs and toads are known in the Sudd. Crocodiles have reportedly declined, but the monitor lizard Varanus niloticus, and two terrapins, Pelusios subniger and Trionyx tringuis, are common in the swamp and floodplain.

ii) Birds: Birds are amongst the most prominent inhabitants of the Sudd region, the majority being associated with the floodplains which are regarded as having the richest avifauna of any African wetland. About 20 species, mainly ducks and geese, feed on submerged vegetation in shallow water; 100, including storks, ibises, waders, lily-trotters, rails and wagtails on the ground, and swifts, swallows and pratincoles in the air, feed on aquatic or emergent invertebrates of one sort or another; and 40, including grebes, cormorants, pelicans, herons, storks, fish eagles, terns and kingfishers, are known to catch and eat fishes and amphibians. A particularly noteworthy inhabitant of the permanent swamps is the shoebill stork, Balaeniceps rex (Meffitt-Babbie 1983).

Mammals: Year-round inhabitants of the Sudd are hippopotamus, buffalo, sitatunga antelope and Nile lechwe. During the dry season a variety of herbivores, some in vast numbers, migrate to feed in the re-exposed grasslands and to drink in remnant pools and at the edges of the permanent system. The main migrants in order of numerical

importance are: tiang (topi), Mongalla gazelle, reedbuck, white-eared cob, waterbuck, giraffe, oribi, elephant and zebra. Herbivores are followed by predators, for example lion and hyena (Mefit-Babbie 1983).

9. Human activities

i) Population and development: The people of the Sudan Plains in the vicinity of the Sudd are, the Dinka in the south, west and north-east; the Nuer in the centre including Zeraf island; and the Shilluk along the White Nile at the tail of the swamps. All three groups are essentially pastoralists who have adopted cultivation and some exploitation of wildlife resources as integral parts of their activities. Compared with the more sedentary Shilluk, the Dinka and Nuer are migratory following the seasonal pattern of hydrobiological events. Their permanent homesteads are located in the "highlands" distinguished as areas less liable to flooding rather than by altitude. Here, in the wet season, cattle, sheep and goats are kept and sorghum (dura) is grown. In the dry season the unmarried people and cattle move towards the Sudd for the grazing and watering places afforded by the uncovered floodplains. They follow established, traditional routes, living in temporary cattle-camps, and hunting and fishing in the grasslands and swamp margins. With the onset of the rains, a return migration ensues (J.I.T. 1954, J.E.O. 1982). The total population in the area of and around the Sudd is probably about 400,000. There are few towns or large villages (Fig. 5.3) and communications and services are seriously disrupted during the wet season.

The Sudd has been traversed in the exploration for oil in the Southern Sudan Plains and it is probable that an abstraction industry will commence in the near future. A major development project in the area is the construction of the Jonglei Canal, see below.

ii) Wetland exploitation:

Navigation: At present the navigable channel of the Nile offers the only year-round surface transportation through the area. Two enterprises operate passenger and cargo services.

Fisheries: Unlike other African cattlemen, the Nilotics appreciate the value of fish and they have traditionally obtained a major seasonal food supplement, chiefly by spear-fishing in the floodplains and at their interface with the riverain swamps. Clarias is prominent in the catch which also includes Protopterus, Polypterus, Heterotis, and Gymnarchus. Seasonal activities range from opportunistic fishing from the cattle-camps to organised fishing "holidays" and "festivals" involving groups of men or entire families.

While grazing has been lost by swamp encroachment since the floods in 1961, the new wetland areas and their lakes have enlarged the potential for perennial fisheries. Some Dinka and Nuer and many riparian Shilluk have increasingly turned to fishing as a means of obtaining both subsistence and income. Year-round fishing camps in the Sudd have increased, using staked gill-nets as the major gear, supplemented in places by drift, seine and cast-nets. The fishes caught in order of overall importance are Distichodus, Citharinus, Heterotis, tilapias, Lates, Gymnarchus, large mormyrids, large catfishes, large characids and Labeo. Catches for market are mostly

sun-dried but there is a fluctuating salt-fish industry operated by Arab merchants, Fellat (West African origin), a Shilluk Cooperative and the Government Fisheries Department.

Some estimates of the potential yield of the Sudd fisheries, to the order of 100,000-200,000 t are unduly high, being based upon inflated evaluation of the area of the Sudd and assumptions about its floodplains extrapolated from elsewhere. However much larger harvests could be sustained than at present, if reliable transportation and markets can be established. An FAO/UNDP Sudd Fisheries Development Programme has been set up and it is based in Bor (Fig. 5.3). (Bailey, Trottier & McWeeny for Mefit-Babbie 1983.)

Hunting: This is an important seasonal activity on the floodplain and around the permanent settlements. In the south-east of the area it has been estimated that wild animals contribute 25% of the annual meat intake. Hunting centres on the more numerous herbivores, notably the Tiang and Mongalla gazelle (Mefit-Babbie 1983)

Abstraction: When it becomes operational, the Jonglei Canal will subject the Sudd to a major, man-induced manipulation. Its path is shown in Fig. 5.3. Excavation began in 1978 and was scheduled for completion in 1985. The canal, 360 km long, c. 50 m wide and 4 m deep, will divert 20-25 million cubic metres of the daily flow of the Bahr el Jebel around the swamp and return it to the Nile at the Sobat confluence. Primarily intended to conserve water for irrigation, the navigable canal and its accompanying all-weather road, will also greatly improve communications in the area. At the same time the operational canal must bring about a shift in the distribution and areas of the wetland zones. The available predictions suggest that the swamps will shrink in area by 21-25% and the floodplains by 15-17%. However, only if the Nile discharge into the Sudan Plains reverts to its pre-1961 levels or abstraction is doubled by the construction of a second canal, will the wetland suffer drastic reduction.

The Jonglei Canal project has generated considerable activity aimed at introducing simple proposals for ameliorating any adverse effects of the canal and to take advantage of the general impetus to development its construction affords.

Vegetation control: The management of the main navigable channels requires periodic clearing of "sudd-blocks", natural dams created initially by rafts of *Vossia* and papyrus. This is achieved by cutting and more recently in the course of oil exploration, by explosives. Regular river traffic reduces the frequency of blocks.

Eichhornia crassipes obstructs minor channels and may cover over lakes and backwaters. Fishermen force and maintain narrow passages through the hyacinth and the weevil, *Neochetina* spp. have been introduced as a biological control method. Harvesting and utilisation of hyacinth have been advocated (Freidel 1979; Mefit-Babbie 1983).

Protective legislation: The Sudd is one of the most important wetlands in the world. It contains a diversity of habitats and wildlife including the majority of the world's population of the shoebill stork and the Nile lechwe. In addition it is a vital refuge for migratory birds from Europe, the Middle East and Asia.

Three areas have accordingly been gazetted as wildlife reserves, near Shambe, Zeraf Island in entirety, and Fanyikang, an island at the tail of the swamps.

5.2. LAKES NO AND AMBADI
by J. GREEN

5.2.a LAKE NO

1. Geography and Morphology

Location: Junction of the Bahr el Ghazal and Bahr el Jebel, South Sudan. Lat. 9°30'N, long. 30°37'E, Altitude 385 m (Fig. 5.3)

Morphometry: The lake is surrounded by extensive papyrus swamps. It is about 10 km long and 2.5 km wide. The maximum depth is about 9 m.

2. Climate: similar to that at Malakal (see fig. 5.2).

3. Hydrology

The normal discharge of the Bahr el Ghazal is between one and two million m³ per day, but rises to about 4 million m³ per day in October, and in exceptional years may rise to 8 million m³ per day. These rates of flow include some spillage from the Bahr el Jebel, and are only about 4% of the flow in the jebel. The hydrology of Lake No is complicated by the flood regime of the Sobat. When the Sobat is in flood the waters back up in Lake No and partway down the Bahr el Jebel.

4. Physico-chemical characteristics of the water

Conductivity: 200-250.10⁻⁶ S.cm⁻¹ (20°C).

pH: 7.1 - 7.8

Secchi disc: 30 - 60 cm

Oxygen (Dec. 1976): 90% saturated at 27.5°C (10 cm depth); 72% saturated at 27.5°C (70 cm depth); 56-65% saturated in Jan. and Dec. 1954 (Talling 1957)

5. Macrophytes

The edge of the lake is surrounded by Cyperus papyrus, and at the base of this marginal vegetation there is a fringe of Eichhornia crassipes. The open water has large patches of Najas pectinata and Nymphaea lotus.

6. Phytoplankton

Major components of the phytoplankton include Lyngbya limnetica, Melosira granulata, and Anabaena flos-aquae. In December - January 1953-54 algal cell numbers were found to range from 1720 to 2880 per ml (Rzoska 1974)

7. Invertebrates

Among the zooplankters the following crustaceans are important: Thermodiaptomus galebi, Thermocyclops neglectus, Diaphanosoma excisum, Daphnia barbata, Moina micrura. Fourteen species of rotifers occur in the plankton, including Brachionus calyciflorus, B. caudatus, B. falcatus, Filinia longiseta and Keratella tropica. Caridina nilotica and C. africana are common among Najas and Eichhornia.

The bottom fauna is dominated by oligochaetes (Limnodrilus) and chironomid larvae, including Cryptochironomus, Stictochironomus and Pelopia spp. Ostracods of the genus Darwinula are also common, and halacarid mites of the genus Limnohalacarus have recently been discovered in Lake No (Green 1984).

Among the Odonata, the bright red Crocothemis erythraea is conspicuous and abundant.

8. Fish

A wide selection of nilotic fish is found in the lake, including Heterotis, Hydrocyon, Distichodus, Citharinus, Lates, Auchenoglanis and Synodontis.

9. Birds

The birds most frequently seen around the lake are ardeids (herons and egrets) and the kingfishers Ceryle rudis and Alcedo cristata. Shoebills Balaeniceps rex occur at the western end of the lake. Two anatids are also fairly common: Nettapus aurita and Dendrocygna viduata. Less usual forms include the white-shouldered plover Hemiparra crassirostris and Alseonax aquatica, a small flycatcher, very active around the bases of papyrus, often taking insects from the water. The activities of fishermen attract black kites Milvus migrans, pied crows Corvus albus and hooded vultures Necrosyrtes monachus.

10. Other vertebrates: Crocodylus niloticus and Hippopotamus amphibius are present.

11. Human activities

In 1914 a German company started to construct a paper pulp factory on the shores of Lake No, and installed some machinery. The remains of these machines can still be found on the shore. Apparently the factory never came into production. Arab fishermen from near Khartoum visit the lake and set up a commercial operation for salting and drying fish for export to Zaire. In 1977 they claim to have exported 71 tons. The main catch in 1976 was large specimens of Heterotis niloticus, together with Citharinus and Lates. Nomadic fishermen from West Africa also visit the lake. They usually occupy a sand bank at the mouth of the Bahr el Jebel. Remains of decorated gourds found in December 1976, when the camp was empty, indicated that the occupants were probably of the Hausa tribe.

5.2.b LAKE AMBADI

1. Geography and Morphology

Location: Bahr el Ghazal, Sudan. Lat. 8°43'N, Long. 29°19'E.

Altitude c. 390 m (Fig. 5.3).

Morphometry: The lake lies in a flat featureless landscape, and is basically a widened river channel about 9 km long and 1-2 km wide. The maximum depth is about 3 m.

2. Climate: See the general summary for this region (Fig. 5.1).

3. Hydrology

The river Jur flows in from the west, and the Bahr el Ghazal flows out in a north-easterly direction. The river Jur at Wau has its maximum flow in September, reaching 35 million m³ per day, with an annual total of 4.5 milliards. By the time the river has passed through Lake Ambadi and reached Lake No the flow is only 0.45 milliards per year.

4. Physico-chemical characteristics of water

Some measurements were made in 1954 (Rzyska 1974) and some in 1976. Conductivity: 40-48.10⁻⁶ S.cm⁻¹ (20°C). pH: 6.4-6.9. Secchi disc: 2.5 m. Oxygen: 64% saturation at 25°C - 10 cm depth; 54% saturation at 25°C - 2 m depth.

5. Macrophytes

The bottom of the lake is covered with a dense carpet of vegetation, including Ceratophyllum, Myriophyllum, Potamogeton, Utricularia and Najas pectinata. Nymphaea lotus is present in some places, and Eichhornia crassipes occurs as a dwarfed form. The marginal vegetation is dominated by Vossia cuspidata.

6. Algae

The lake has a distinctive phytoplankton, with Dinobryon sertularia, Botryococcus braunii and Asterococcus limneticus. The most remarkable aspect of the algal flora is the abundance and diversity of the desmids (Gronblad, Prowse and Scott 1958).

7. Invertebrates

Only the microinvertebrates have been studied. The fauna is sparse, but diverse, with 32 species of testate rhizopods, 26 species of Rotifera, and over 20 species of microcrustacea. Oligochaetes include Pristina longiseta and Aulophorus furcata. Snails are sparse, but Lentorbis junodi has been found. The most common dragonfly is Brachythemis leucostica. Caenid mayflies have been found, but other insects have not been studied.

8. Vertebrates

The fishes of the lake have not been studied, although there is a general account of the fisheries in the Northern Bahr el Ghazal (Stubbs 1949). The following birds were seen at the northern end of the lake in December 1976. Podiceps ruficollis, Phalacrocorax africanus, Anhinga rufa, Ardeola ralloides, Egretta intermedia, Ceryle rudis, Alcedo cristata. The black headed gull Larus ridibundus has spread down to this region during the last decade. Hippopotamus amphibius was seen in the lake.

9. Human activity: Negligible in this area.

5.3. LAKES KEILACK AND KUNDI

by J. GREEN

Climate

Temperature has a diurnal range of about 17°C in July with maxima up to 33°C. In January the diurnal range is 10°C with maxima up to 36°C. Rainfall about 700-800 mm per year, with the wettest months being July and August. January is the driest month, often lacking rain. Winds in January prevail from NNE with an average speed of 14 km/h. In July winds are mainly from the South with average speed about 5 km/h.

5.3.a LAKE KEILACK

1. Geography and Morphology

Location: South Kordofan, Sudan. Lat. 10°50'N, Long. 29°17'E. See Fig. 5.1. Altitude c. 450 m.

Morphometry: In the dry season the area of the lake is about 5 km² with a depth of about 2 m, but in the wet season the area increases to over 30 km² and the maximum depth is about 4 m.

2. Physico-chemical characteristics of the water

Data based on a single visit in January 1976. Temperature°C: 23.0 (surface); 22.9 (1 m). Conductivity: 550.10⁻⁶ S.cm⁻¹ (20°C). pH: 7.6-8.4. Transparency: Secchi disc 44 cm. Oxygen % saturation: 83 at 10 cm; 86 at 1 m.

3. Macrophytes

The dry season has a rich vegetation with Ceratophyllum demersum, Najas pectinata and Nymphaea lotus as the main species. There are smaller amounts of Nymphaea coerulea and a few small patches of a Polygonum species.

4. Phytoplankton: Has not been studied.

5. Invertebrates

94 species recorded so far, including 14 species of rhizopoda and 20 species of Crustacea. The zooplankton is dominated by Thermocyclops spp., and Moina micrura is abundant. Tropodiatomus processifer and Mesocyclops aspericornis are also present. Rotifers (17 species) are dominated by Brachionus caudatus, with Filinia longiseta as an important sub-dominant. Branchiodrilus hortensis (Oligochaeta) and Biomphalaria sudanica are present. Linnavuori (1971) has recorded 19 species of aquatic Hemiptera from the lake. The larva of Culex decens was abundant in the lake in January 1976. Lewis (1945, 1947, 1956a & b) has recorded six other species of mosquitos from the lake.

6. Fish

Clarias lazera, Tilapia zilli and Schilbe mystus have been recorded.

7. Birds

19 species of waterbirds were seen in January 1976. The numbers were generally much lower than those at Lake Kundi. The same six species of Ardeidae were present, but the Anatidae and Scolopacidae were poorly represented. Fish eagles Haliaeetus vocifer were present.

8. Human activities

Lake Keilack is an important watering place for the cattle of nomads ranging from as far as away as Nigeria. Some fishing occurs, and some small rafts made from three bundles of Ambatch Aeschynomene elaphroxylon were seen propelled like a punt, using a long pole.

5.3.b LAKE KUNDI

1. Geography and Morphology

Location: Southern Darfur, Sudan. Lat 10°26'N, Long 25°10'E. Altitude c. 450 m (Fig.5.1).

Morphometry: The drainage around the lake is not properly mapped, but it is known that it receives some water from Wadi Ibra in the wet season; it may also receive some water from other wadis originating on Jebel Marra. The maximum extent of the lake in the wet season is uncertain, but its area probably reaches about 12 km². In the dry season it is much smaller, about 2 or 3 km². In January 1976 the maximum depth was about 2 m.

2. Physico-chemical characteristics of water

Data based on a single visit in January 1976. Temperature°C: 19.5 (surface). Conductivity: 110.10^{-6} S.cm $^{-1}$ 20°C. pH: 7.0. Transparency: Secchi disc, 40 cm. Oxygen % saturation: 44 at 10 cm; 22 at 1 m.

3. **Macrophytes:** In the dry season the reduced lake has a rich vegetation dominated by Ceratophyllum and Nymphaea lotus.

4. **Phytoplankton:** Has not been studied.

5. Invertebrates

100 species recorded so far, including 18 species of rhizopods and 21 species of crustaceans. The zooplankton has a typical African assemblage, with Moina micrura as a dominant form. Copepods include Tropodiatomus processifer, Mesocyclops aspericornis, and two species of Thermocyclops. Rotifers (31 spp) include Keratella tropica (dominant), three species of Brachionus, Asplanchna brightwelli and Polyarthra dolichoptera. The oligochaetes include Branchiodrilus hortensis, whilst two gastropods, Biomphalaria sudanica and Bulinus forskali are also present. The Coleoptera include Yola senegalensis and Cybister alluaudi. The larva of Culex decens was abundant in the lake in January 1976.

6. **Fish:** Clarias lazera and Tilapia zilli have been recorded.

7. Birds

Lake Kundi is an important wintering ground for waterbirds (28 species). Anatids were abundant in January 1976, including spur-winged goose Plectropterus gambensis, pygmy goose Nettapus auritus and knob-billed duck Sarkidiornis melanotos. Six species of Ardeidae (herons and egrets) were present, five Scolopacidae (sandpipers etc) and four Ciconiidae (storks, including about 100 yellow billed stork Mycteria ibis. Fish eagles Haliaeetus vocifer were present.

8. Human activities

The population is generally sparse, but nomadic cattle herders pass through the area. There is also some shooting of waterbirds by men from nearby villages.

EASTERN AFRICA

Co-ordinator

AFRIQUE ORIENTALE

Coordonnateur

*Mary J. BURGIS*INTRODUCTION

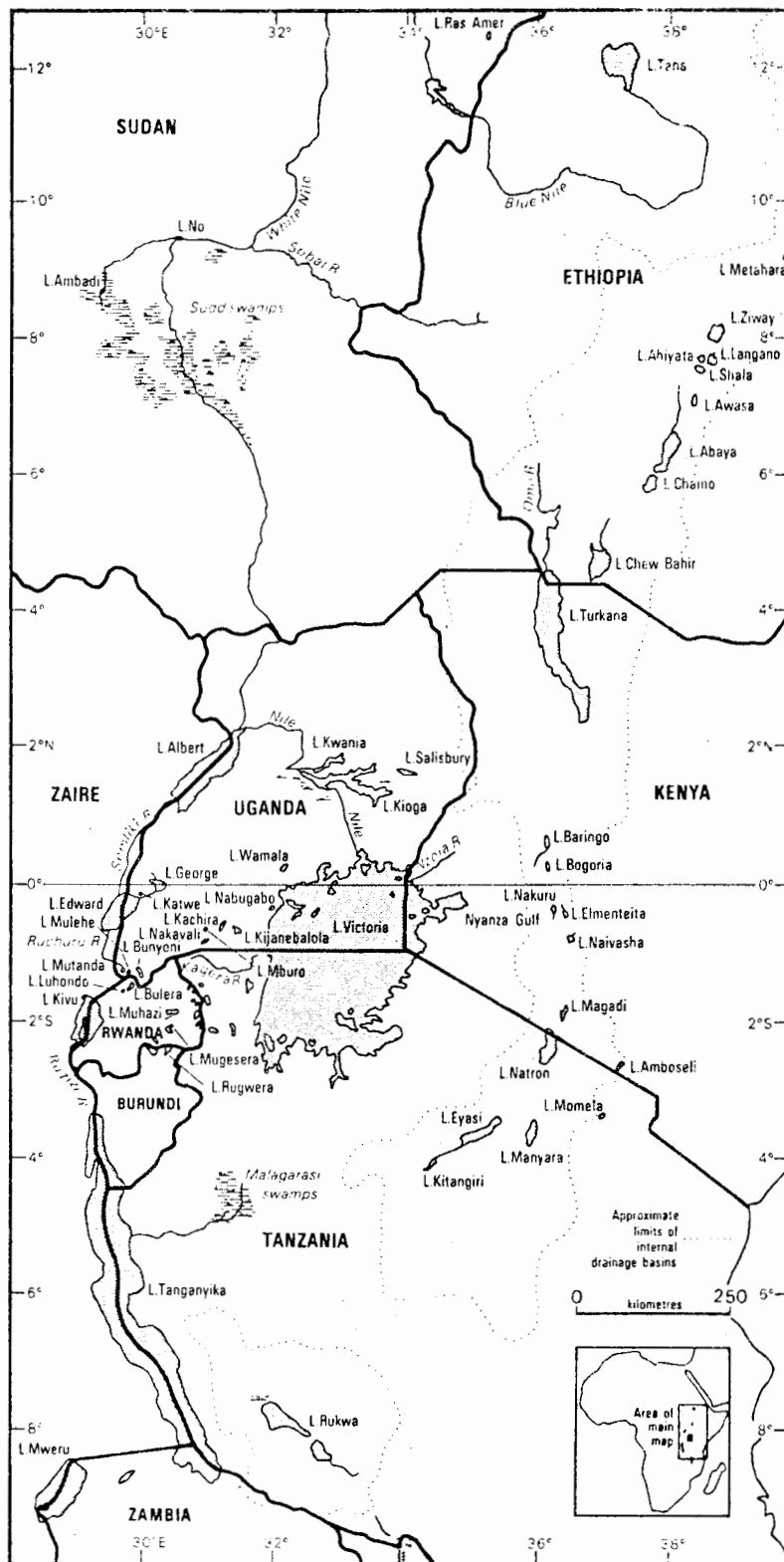
by Mary J. BURGIS

This region covers the whole of Ethiopia and the Republic of Djibouti, Kenya, Uganda, Tanzania, Rwanda and Burundi. Much of the area is at high altitude (c.1000 m asl) and in many places over 2000 m. It includes the head-water lakes of both the Blue Nile and the White Nile, plus some of the largest and deepest lakes in the world (Fig. 6.1). In addition there are many thousands of shallow lakes and wetlands which could have been included in this Directory. Only the most obvious and the best studied (not always the same) have been included. Many small crater lakes in the highlands adjacent to the Gregory Rift have been omitted as have quite large, but relatively unknown (from a limnological point of view), shallow pans such as Lake Amboseli and Lake Jipe. Many interesting high-mountain lakes have also been omitted. Perhaps more importantly (particularly from the point of view of those concerned with development projects), many major flood-plain areas have had to be omitted. In a paper presented at a workshop on "Dynamics of Continental Wetlands and Water Bodies" held in Minsk during July 1981, N.A. Mwanyika listed eleven major swamps in Tanzania and described the Lower Rufigi Floodplain the largest in Tanzania, to illustrate the importance of these areas to the local economy and their significance to large-scale development projects. The swamps on the Malagarasi River, which flow westward into Lake Tanganyika, are of particular zoological interest because some of their fish are more closely related to those of the Zaire River Basin than to the Nilotic fauna of East Africa. This suggests that an earlier westward course of the river was interrupted by the formation of the Rift Valley and Lake Tanganyika.

The lakes and wetlands dealt with here have been grouped into four geographical sub-regions, corresponding to those in which the bibliography is listed, and within them the best-known lakes are each treated separately and others are dealt with in groups.

A note on tilapia taxonomy:

Over the years the specific names of some of the commercially most important fish species in the lakes of Eastern Africa (the tilapias) have changed several times. In compiling this section of the Directory it was beyond the co-ordinator's competence to update the names of all these



species accurately and it would have been very tedious for the user to have a row of synonyms provided every time, so the fish have been mostly referred to by the names used in the literature quoted. However, since the definitive work of Trevawas (1983) seems likely to finalise the names of at least some of these species a list of synonyms is given here to aid comparison between older and more recent literature. The name now proposed by Trevawas is given first:

Oreochromis alcalicus alcalicus = Sarotherodon alcalicus alcalicus
= Tilapia alcalica

This is the sub-species endemic to Lake Natron.

Oreochromis alcalicus grahami = Sarotherodon alcalicus grahami
= Tilapia grahami

This is the sub-species endemic to Lake Magadi and introduced to Lake Nakuru.

Oreochromis amphimelas = Tilapia manyarae

Oreochromis esculentus = Tilapia esculenta
= Tilapia variabilis

Oreochromis jipe = Sarotherodon jipe
= Tilapia jipe

Oreochromis leucostictus = Sarotherodon leucostictus
= Tilapia leucosticta

Oreochromis mossambicus = Sarotherodon mossambicus
= Tilapia mossambica

Oreochromis niloticus = Sarotherodon niloticus
= Tilapia nilotica

Oreochromis rukwaensis = Sarotherodon rukwaensis
= Tilapia rukwaensis

Oreochromis spirulus niger = Oreochromis niger
= Tilapia nigra

All members of the genus Oreochromis are mouth brooders. The genus Tilapia is now reserved for substrate brooders. It seems likely that the name tilapia will continue in general use for both these genera as the English vernacular.

Fig. 6.1 Map showing the lakes of Eastern Africa, including most of those dealt with in this chapter. Only those in Eastern Ethiopia and Djibouti (see Fig.6.2) are omitted. International boundaries are shown by solid lines. (Redrawn after Talling & Talling 1965).

6.1. ETHIOPIE ET REPUBLIQUE DE DJIBOUTI

par Françoise GASSE

L'Ethiopie et la République de Djibouti (3°- 18°N, 33°- 48°E) recouvrent une surface totale de plus de un million de kilomètre carrés (fig. 6.2). Le caractère le plus frappant de cette sous-région est la diversité des paysages, due à une topographie très accidentée puisque les altitudes varient de plus de 4500 m dans les massifs montagneux à - 155 m dans la dépression de l'Afar. L'Ethiopie est essentiellement une région de hauts plateaux s'étendant à 2000-2500 m d'altitude sur de vastes surfaces. Ces plateaux sont divisés en Plateaux Ethiopiens (au NW) et Plateaux du SE par le Rift Ethiopien de direction NNE. D'importants massifs volcaniques s'élevant à plus de 4000 m d'altitude interrompent leur monotonie. Ces zones élevées (plateaux et massifs montagneux), fortement arrosées, alimentent de nombreux lacs (tels que le grand lac Tana au Nord et de multiples petits lacs alpins au SE) et d'importants cours d'eau. Le Nil Bleu gonflé de ses affluents s'écoule vers la Méditerranée. La rivière Awash va se perdre dans le bassin endoréique du lac Abhé en Afar. Le Webi Shebelli et le Juba vont se jeter dans l'Océan Indien.

Le Rift Ethiopien, dont le plancher se situe à 1000 - 1700 m d'altitude, est soumis à un climat semi-aride. Il est occupé par une chaîne de lacs endoréiques principalement alimentés par des cours d'eau à bassin versant de faible superficie.

Vers le NNE, les plateaux sont limités par des escarpements de failles dont l'ampleur verticale atteint 2500 m le long du plateau éthiopien. Ces escarpements dominent l'Afar, dépression triangulaire dont l'altitude s'abaisse en plusieurs points en dessous du niveau de la mer. L'Afar, désertique, ne présente que quelques lacs et marécages résiduels. Ces milieux aquatiques dépendent hydrologiquement des zones plus élevées, soit directement par un cours d'eau permanent, la rivière Awash (marécages de Gawani, lacs L. Gamari, L. Afambo, L. Bario, L. Abhé), soit par l'intermédiaire des résurgences d'eaux infiltrées sur les plateaux ou sur les escarpements (L. Afrera) auxquelles s'ajoutent, dans le cas du lac Asal (- 155 m), des infiltrations d'eau marine.

Malgré ces contrastes topographiques et climatiques, l'unité de la région 6.1 tient au fait que les milieux aquatiques sont principalement alimentés, directement ou indirectement, par les précipitations tombant sur les reliefs éthiopiens.

En raison du peu d'informations sur la plupart des lacs de cette sous-région, seuls quelques - uns d'entre eux seront traités.

6.1.a. LAC TANA

Le bassin du lac Tana s'étend sur une épaisse série basaltique d'âge Mio-Pliocène (avec de fréquentes intercalations de tufs et de paléosols) reposant sur les traps oligo-miocènes (fig. 6.3). Au Sud du bassin, une série éruptive plus récente (Pléistocène) est représentée par des coulées basaltiques s'allongeant sur une bande SW-NE de 30-40 km de large associées à de nombreux cônes volcaniques (dont l'île Dek, dans la moitié Sud du lac Tana, est un exemple). Ces coulées volcaniques ont barré une vallée antérieure et sont responsables de l'installation du lac Tana et des grandes lignes de l'hydrographie actuelle. Alimenté par de très nombreux petits cours d'eau, le lac Tana donne naissance au Nil Bleu, qui

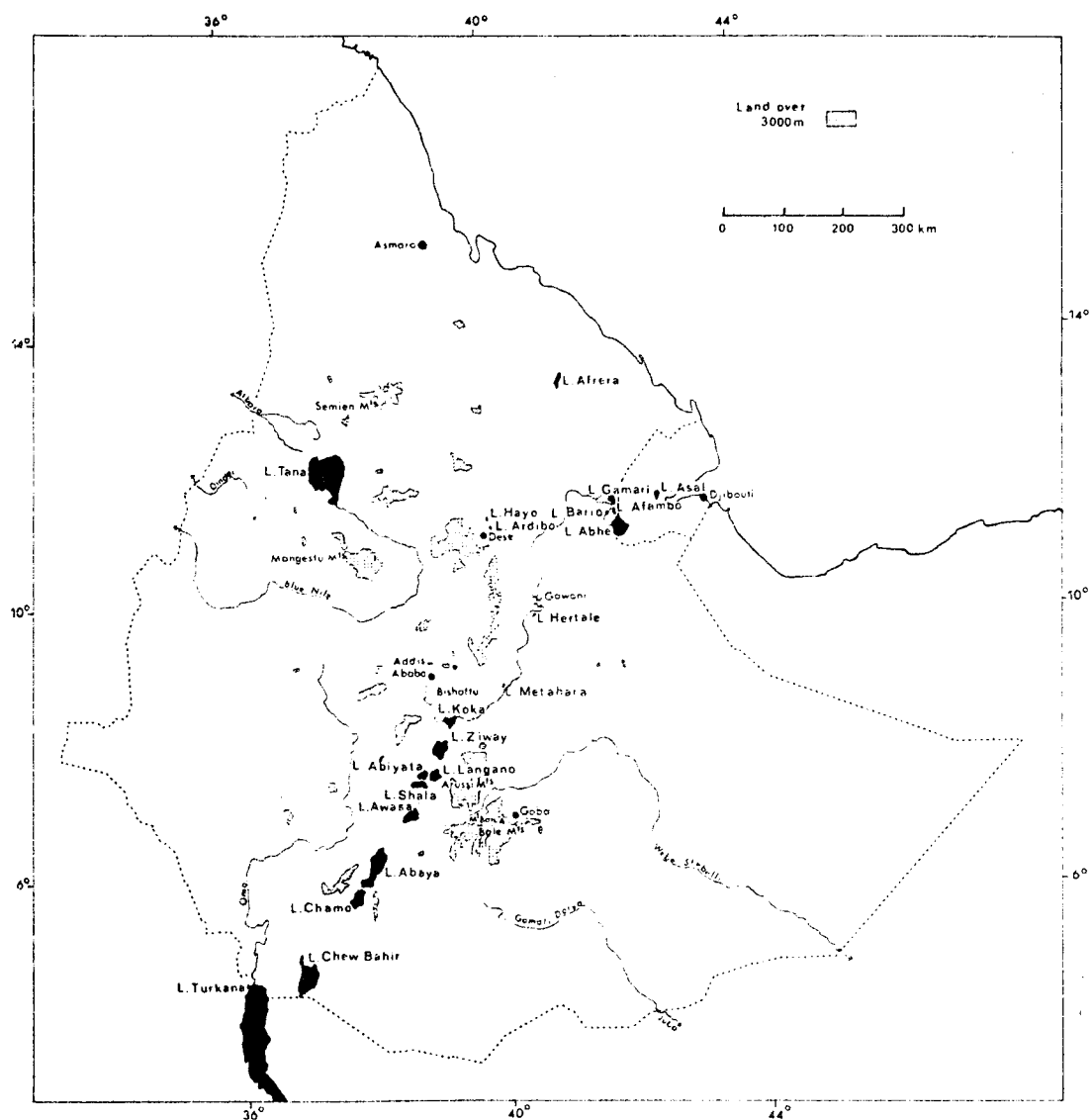


Fig. 6.2 Carte de localisation des principaux systèmes aquatiques d'Ethiopie et de Djibouti.

s'écoule d'abord selon une direction NW-SE, franchit les chutes de Tisasat, s'encaisse dans de profondes gorges découpées dans les traps, et contourne les Mts Mangestu avant de prendre son cours SE-NW vers le Soudan.

Des petites plaines alluviales, souvent marécageuses, bordent le lac au N (plaine de Dembea), à l'E (plaine de Foghera) et au SSW (plaine de Delghi).

Les sédiments du Tana n'ont pratiquement pas été étudiés. Il s'agit d'une vase argileuse gris à gris-brun dépourvue de carbonate et pauvre en matière organique (1,2 à 2,3%).

1. Situation, Géographie

Localisation: République d'Ethiopie: 12°40' - 11°30'N; 37°00' - 35°05'E.

Altitude: 1829 m.

Superficie: Bassin versant et lac: 16 500 km²;

Lac Tana: 3156 km²

Paysage: Le lac Tana s'étend dans un paysage de plateaux basaltiques ondulés interrompus par de nombreux appareils volcaniques. La côte est plate le long des plaines marécageuses de Dembea au Nord, de Foghera à l'Est, et de Delghi au Sud. Ailleurs, elle est rocheuse et souvent limitée par de petites falaises de quelques mètres de hauteur.

2. Climat (fig. 6.4)

Il est de type Cwa (Köppen) avec:

- une saison sèche d'hiver (octobre-mars)
- une saison humide d'été (avril-septembre)

Insolation: Moyenne annuelle: 2660 h. an⁻¹; maximum en janvier (environ 288 h); minimum en juillet (environ 114 h).

Vents: Vents du Nord dominants de janvier à juillet; force 2,0 - 3,0 Beaufort. Vents du Sud dominants d'août à novembre; 2,0 - 2,5 Beaufort.

Précipitations: (Station de Bahar Dar); moyenne annuelle: 1315 mm maximum en juillet (474 mm); plus de 100 mm par mois de juin à octobre; minimum de décembre à avril (1 à 5 mm/mois).

Evaporation: Station du Bahar Dar (évaporation réelle en bordure du lac). Total annuel: 1836 mm; maximum en mars-avril; minimum en juillet-août-septembre.

Température de l'air: Station de Gondar; moyenne annuelle: 19,0°C; maximum en avril: 22,7°C; minimum en août: 15,8°C. Moyenne annuelle

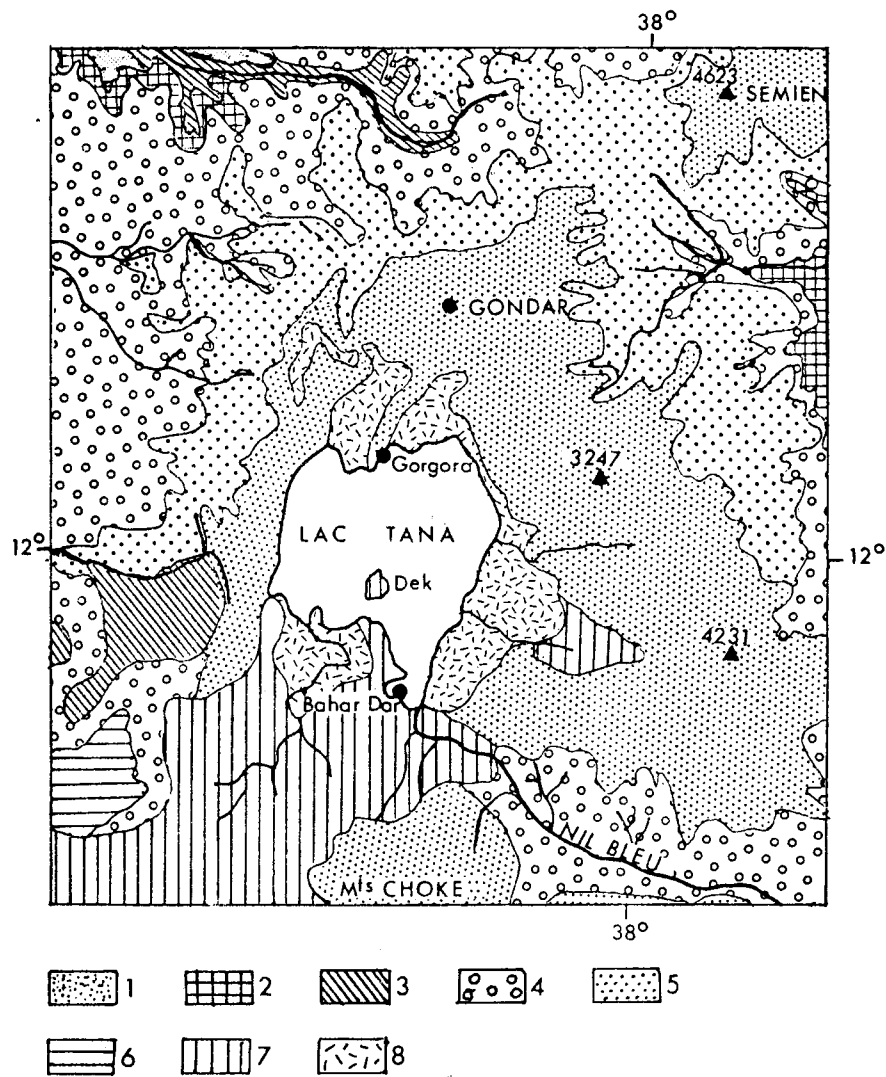


Fig. 6.3 Lac Tana: cadre géologique. 1: socle précambrien; 2: grès triasiques à Crétacé; 3: terrasses fluviales, Pliocène à Actuel; 4: basaltes oligo-miocènes; 5: basaltes mio-pliocènes; 6: colluvions, Pléistocène à Actuel; 7: laves volcaniques récentes, Pléistocène à Actuel; 8: dépôts lacustres ou palustres récents, Pléistocène à Actuel.

des maxima à 30 cm du sol: 33,4°C (27,1°C en juillet et 40,1°C en mars); moyenne annuelle des minima à 30 cm du sol: 10,3°C (6,6°C en janvier et 12,4°C en octobre).

3. Morphométrie

Le lac Tana est grossièrement triangulaire, avec une base nord de direction E - W. Son contour (385 km) est sinueux, en particulier dans sa pointe sud. Les îles de Dek et de Daga représentent un cône volcanique récent partiellement submergé.

Largeur maximale EW: 67,7 km; longueur maximale NS: 72,4 km.

Profondeur moyenne: 8-9 m; profondeur maximale: 14,1 m.

Volume: 28 km³ environ

Variations du niveau lacustre: 1,90 m (sur une période décennale). Minima généralement observés en juin, plus rarement en mai. Maxima en juillet-août-septembre.

4. Hydrographie et hydrologie

Le lac Tana est alimenté par les pluies tombant directement sur le lac d'une part, par de nombreux petits cours d'eau d'autre part. Les pertes en eau se font par l'émissaire, le Nil Bleu, et par évaporation sur le lac.

Apports: En considérant une moyenne annuelle des précipitations de 1300 mm, on peut évaluer l'apport par les pluies à environ 4200.10⁶ m³.an⁻¹.

Les tributaires, au nombre de 61, n'ont que quelques kilomètres, ou dizaines de kilomètres de longueur. Les plus importants sont les rivières Petit Abbai, Dirma, Meghec Reb, et Gumarà. Leur débit maximal s'observe en juillet-août. Le débit moyen annuel est évalué à 125 m³. s⁻¹, soit environ 3900.10⁶ m³.an⁻¹).

Les pertes: Le Nil Bleu, émissaire du lac, a un débit moyen annuel d'environ 3900.10⁶ m³.an⁻¹ à la sortie du lac. Les maxima se situent en septembre (environ 400 m³.s⁻¹), et le débit s'abaisse à quelques m³.s⁻¹ pendant la saison sèche.

L'évaporation sur le lac joue certainement un rôle primordial dans le bilan hydrologique. En se basant sur une moyenne journalière de 3,5 mm.d⁻¹ pour l'évaporation sur le lac (d'après les données de Graham & Black 1925, p.23), on peut évaluer à environ 4030.10⁶ m³.an⁻¹ les pertes totales par évaporation sur le lac. Il semble ainsi que, volumétriquement, les apports par précipitation sont grossièrement compensés par l'évaporation, et que le bilan hydrologique du lac dépend très largement des paramètres climatiques locaux.

Les valeurs ici avancées pour les facteurs du bilan hydrologique (précipitations sur le lac, apports des tributaires, pertes par évaporation, et pertes par le Nil Bleu) ne sont qu'approximatives.

5. Caractères physico-chimiques des eaux

Température de surface: (°C)

	Zone côtière	Zone pélagique
Moyenne annuelle	21,81	21,63
Minimum		18,8
Maximum		24,0
Variation journalière maximale	4,9	4,5

Transparence: Moyenne: 102,74 cm; maximum: 130 cm; minimum: 80 cm

Chimisme des eaux de surface

	Minimum mesuré	Maximum mesuré
pH	7,5	8,4
Conductivité (10^{-6}S.cm^{-1})	137	240
TDS (mg.l^{-1})	151,5	174
Na (meq l^{-1})	5,5	9,4
K (meq l^{-1})	1,1	1,56
Ca (meq l^{-1})	15,2	18,84
Mg (meq l^{-1})	5,1	5,47

Alcalinité

$\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 (\text{meq l}^{-1})$	1,52	1,70
Cl (meq l^{-1})	1,42	2,5
$\text{SO}_4 (\text{meq l}^{-1})$		2,4
$\text{SiO}_2 (\text{mg l}^{-1})$		6,4
$\text{PO}_4\text{-P} (10^{-6} \text{g l}^{-1})$		20

Brassage des eaux: La circulation des eaux est dominée, pendant la saison des pluies, par les courants de direction dominante Nord Sud se dirigeant vers l'exutoire. Pendant la saison sèche, les variations thermiques journalières entraînent une stratification thermique diurne régulièrement détruite.

6. Macrophytes (d'après Brunelli & Cannicci 1940)

Les macrophytes ne s'observent qu'en bordure du lac. Les plantes submergées sont (à l'exception de Pistia stratiotes) fixées à la vase du fond. Les plus communes sont Nymphaea caerulea, N. lotus, Ceratophyllum demersum et Vallisneria spiralis.

Les plantes partiellement submergées et émergées forment une ceinture marécageuse subcontinue autour du lac. Dans la partie méridionale, la végétation des marécages bordiers est dominée par Cyperus papyrus; Typha latifolia est localement abondant. Au nord et à l'est, les terrains marécageux sont principalement envahis par les genres Echinochloa (E. pyramidalis, E. stagnina), et Polygonum (P. barbatum, P. senegalense).

7. Phytoplancton

Le phytoplancton est dominé par les diatomées, avec principalement Melosira agassizii, M. italica var. bacilligera, et/ou M. distans

var. alpigena. Des Surirella endémiques d'Afrique orientale (tels que S. muelleri, S. fulleborni etc...) sont à signaler. Les Cyanophycées sont assez abondantes, avec les genres Microcystis et Anabaena. Les Chlorophycées, peu fréquentes, sont principalement représentées par Pediastrum clathratum, P. simplex, Straurastrum leptocladum, et secondairement par Botryococcus braunii, Chaetophora elegans et Closterium sp. (Brunelli & Cannicci 1940, Talling 1976).

Les variations saisonnières n'ont pas été étudiées et les données quantitatives sont inexistantes, à l'exception d'une mesure de la teneur en chlorophylle a ($3,7 \text{ mg.m}^{-3}$) effectuée près de Bahar Dar en mars 1964 (Talling 1976).

8. Invertébrés

Zooplankton: Parmi les Protozoaires, Vorticella microstoma et Eudorina elegans sont abondants. La faune de Rotifères est relativement pauvre (14 espèces) et constituée d'espèces assez banales et cosmopolites. Une dizaine d'espèces de crustacés planctoniques ont été inventoriées, parmi lesquelles Bosmina longirostris, Diaphanosoma excisum, Ceriodaphnia bicuspidata et Thermiadaptomus galebi sont les plus abondantes et représentent 90% de la population (Talling & Rzoska 1967).

Benthos: Les Protozoaires Arcella et Diffugia sont communs sur les plantes submergées. Cyclops albidus se rencontre dans l'ensemble du lac. Les Mollusques sont répartis dans toute la bande côtière, mais la faune est assez pauvre en espèces. Melanoides tuberculata est l'espèce la plus largement répandue dans l'espace et la plus abondante dans les associations. Aspatharia rubens, Viviparus unicolor, Unio abyssinica et Corbicula fluminalis sont assez communs.

9. Poissons

La famille des Cyprinidae est la mieux représentée avec Varicorhinus beso, Discognathus quadrimaculatus, Barbus (14 espèces dont les plus fréquentes sont B. affinis et B. intermedius). Trois espèces de Clariidae ont été inventoriées (Clarias tsanensis, endémique du lac Tana, C. mossambicus et C. anguillaris), Oreochromis niloticus est le seul représentant des Cichlidae. La faune piscicole est donc assez pauvre.

10. Activités humaines et aménagement

Le lac Tana est soumis à une pêche artisanale peu développée. A l'exception des tilapias, peu abondants, la valeur commerciale des poissons du lac Tana est faible. Les genres Clarias et Barbus représentent 90% des produits de la pêche.

La pêche indigène est surtout concentrée à Zeghié (au nord de Bahar Dar) et à Quorata (à l'est de Bahar Dar). La pêche s'effectue à la nasse ou au filet. La pauvreté de la pêche tient à la faible densité de la population aux alentours du lac, mais aussi à la qualité médiocre du poisson et aux coutumes des Amharics, peuple de pasteurs et de cultivateurs.

6.1.b. LES LACS DES MONTS BALE

1. Situation, climat, géologie

Sur les monts Bale, une centaine de petits lacs, perchés bien au-dessus de la limite supérieure des arbres, s'observent dans un contexte afro-alpin. Les monts Bale se situent entre 6°30' - 7°20'N, et 39° - 40°30'E. Il s'agit d'un haut plateau, parsemé de lacs et de dépressions humides, s'étendant à 4000 - 4200 m d'altitude et constitué de roches volcaniques d'âge oligocène supérieur à Miocène supérieur, surmonté d'édifices volcaniques d'âge quaternaire formant les sommets mont Batu, 4340 m). Le basalte est prédominant, mais des roches volcaniques acides s'observent aussi à l'affleurement.

On ne dispose pas de mesures climatiques continues pour ces hautes montagnes. D'après Griffiths (1972), le climat est de type Cfb (classification de Köppen). Cependant, d'après Löffler (1978), les pluies sont réparties sur deux saisons (mars-mai, et octobre-novembre), et ces variations saisonnières seraient responsables du caractère temporaire de la plupart des lacs et des mares. En considérant un gradient de température de 7°C/1000 m, la température moyenne annuelle serait de l'ordre de 2-3°C à 4000 m. Le gel est fréquent. Les précipitations, qui tombent sous forme de pluie ou de grêle, excèdent probablement 2000 mm.an⁻¹.

Comme les autres hauts massifs d'Ethiopie (Semien, Mt. Arussi), les Mts Bale ont été recouverts de calottes glaciaires, au cours du Pléistocène supérieur, période où les névés se sont abaissés jusqu'à 3800-3600 m (Messerli *et al.* 1976). Les plans d'eau actuels occupent des dépressions modelées par l'activité glaciaire (cirques glaciaires, lacs de barrage morainique). De nombreux bassins sont actuellement entièrement comblés ou en voie d'assèchement. Une douzaine de ces milieux aquatiques ou subaquatiques, permanents ou temporaires, ont été très succinctement étudiés par Löffler (1978). Les caractères morphométriques et physico-chimiques mesurés pour quelques-uns d'entre eux sont mentionnés dans le tableau 6.1.

Le Garba Guratsch est le mieux connu (Werdecker 1972; Löffler 1978; Baxter & Golobitsch 1981). Ce lac permanent se situe à 15 km au sud de la ville de Goba, à l'Est du Mt. Batu. Il occupe une vallée érodée en amphithéâtre sous l'action glaciaire. D'après Löffler, il s'agit d'un lac morainique. Il est alimenté par le ruissellement local sur basalte. Il possède un exutoire, affluent de la rivière Tagona. Les "tarns 1 et 2" (Löffler, 1978) appartiennent à un ensemble de multiples petits plans d'eau et se situent à 3-4 km à l'est du Garba Guratsch. Le Hora Orgona s'étend à 7-8 km au sud-ouest du Garba Guratsch. Il est alimenté par des eaux ruisselant sur des trachytes alcalins, ce qui expliquerait sa conductivité relativement élevée. Il est toutefois probable que la salinité soit très fluctuante car l'extension du lac varie fortement selon les saisons et l'exutoire ne fonctionne que lorsque sa profondeur atteint 1,65 m.

2. Phytoplancton

Pratiquement inexistant d'après Löffler (1978). Il est peu abondant et principalement constitué de diatomées d'après Baxter & Golobitsch (1981).

3. Faune

La faune est toujours composée des 3 espèces paléarctiques : Daphnia obtusa (dominant), Arctodiaptomus sp. et Megacyclops viridis, auxquels s'associent parfois d'autres espèces de Daphnia.

La faune benthique est composée d'espèces de Cladocères, de Copépodes et d'Ostracodes assez diversifiées et pour la plupart africaines.

Ni amphibiens ni poissons n'ont été observés. L'avifaune (oies, ibis, canards) est par contre riche. Les espèces dominantes sont Cyanochen cyanoptera, Bostrychia carunculata, Pallus rougetti, endémiques d'Ethiopie, et Tadorna ferruginea.

Tableau 6.1. Caractères physico-chimiques de quelques lacs des Mts Bale
Ref 1: Löffler 1978 Ref 2: Baxter & Golobitsch 1981

	Tarn 1	Tarn 2	Hora Orgona	Garba Gurastch	Réf.
Longueur				400	2
Largeur				300	2
Superficie (ha)	1 (max)		40	20	1
Profondeur maximale mesurée (cm)	50		45		1
Fluctuations observées du niveau du plan d'eau (cm)	90		120*	500 35	2 1
Transparence (Secchi) (cm)			14	600	1
Température (°C)	6,9-12,1		10,0-12,0	11,0-11,2 11-11,5	1 2
pH	6,45	6,20	8,20	7,40 7,6	1 2
Conductivité ($10^{-6} S \cdot cm^{-1}$)	57,1	54,5	718,0	131,0 57	1 2
Na ($meq \cdot l^{-1}$)	0,13	0,10	2,86	0,29 0,38	1 2
K ($meq \cdot l^{-1}$)	0,014	0,027	0,0371	0,019 0,04	1 2
Ca ($meq \cdot l^{-1}$)	0,14	0,30	3,78	0,23 0,06	1
Mg ($meq \cdot l^{-1}$)	0,16	0,11	3,53	0,25 0,10	1 2
Alcalinité ($meq \cdot l^{-1}$)	0,4	0,3	5,5	0,6 0,3	1 2
Cl ($meq \cdot l^{-1}$)	0,109	0,084	4,089	0,050	1
SO ₄ ($meq \cdot l^{-1}$)	0,07	0,16	0,68	0,14	1
SiO ₂ ($mg \cdot l^{-1}$)				8	2

* Effluent

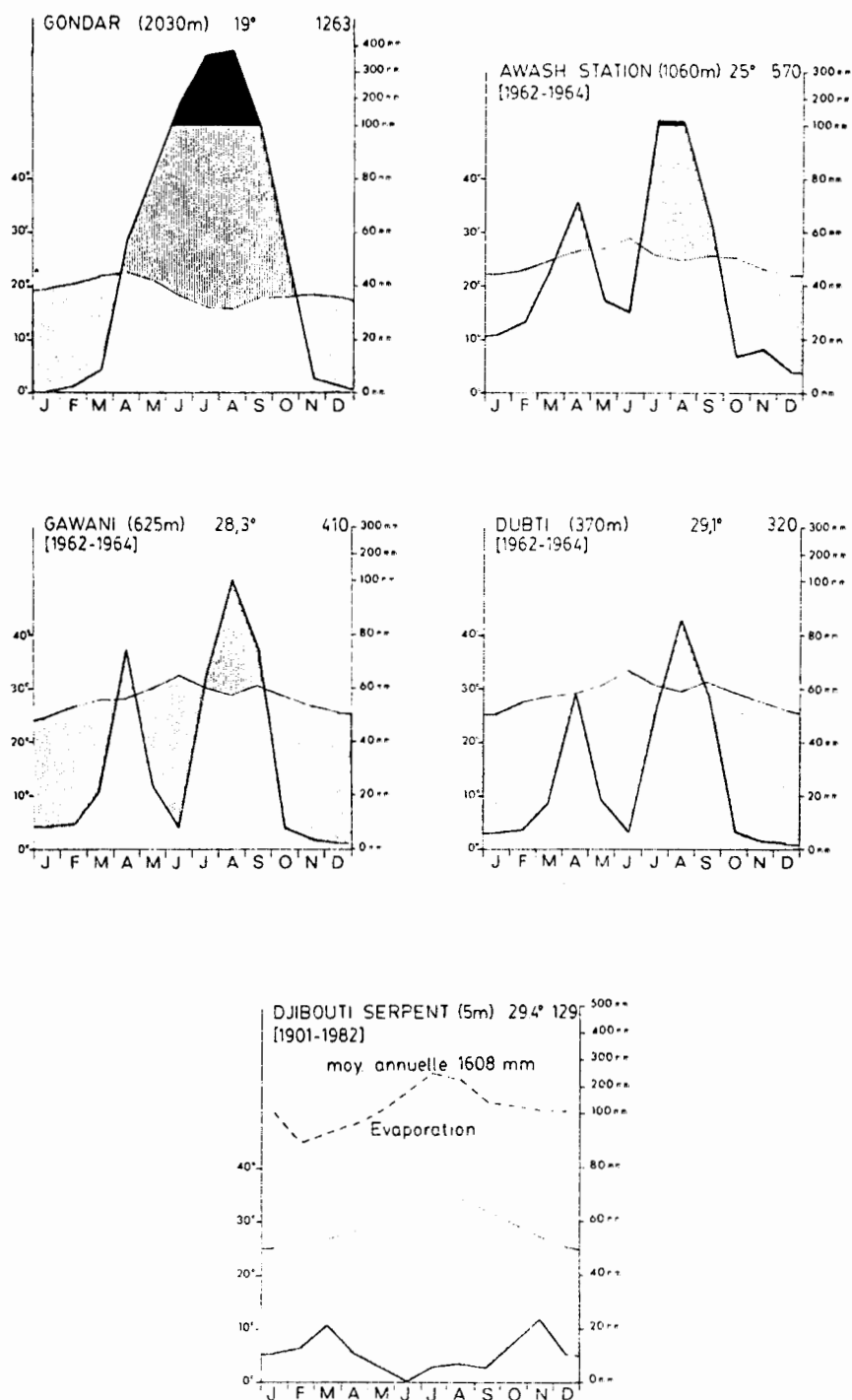


Fig. 6.4 Diagrammes climatiques de l'Ethiopie: station de Gondar et quelques stations de l'Afar d'altitudes différentes.

6.1.c. LES LACS DE BISHOFTU (près de Debré, env. 9°N, 39°E)

La région de Bishoftu se situe en bordure du Rift éthiopien, et les cinq lacs de cratère qu'elle renferme ont encore un caractère montagnard en raison de leur altitude (1850-2000 m). Ces cinq lacs sont, du sud au nord, les lacs L. Aranguadi, L. Bishoftu, L. Biete Mengest, L. Pawlo, et L. Kilotes. Bien que les lacs L. Bishoftu et L. Pawlo soient relativement profonds (respectivement 87 m et 65 m), ils sont traités ici car les cinq lacs constituent un ensemble bien homogène quant à leur localisation, leur origine et leur fonctionnement.

1. Géographie et Morphologie

Géologie: Les lacs de Bishoftu occupent les principaux cratères d'une chaîne de 13 volcans explosifs à proximité de Debré Zeit, village situé à 47 km au sud de Addis-Ababa. Ces cratères sont alignés selon une direction NE-SW, à l'exception des deux les plus septentrionaux, décalés vers l'Est (et dont l'un contient le lac Kilotes). Ces cratères ont un âge voisin de 7000 ans B.P. (Mohr 1961). Les cinq lacs ont donc une origine et un âge communs, et sont de taille comparable. Ils diffèrent par contre nettement par leur morphométrie et leur chimisme.

2. Climat

La région de Bishoftu se situe à la frontière d'une zone à climat de montagne tropicale, les plateaux éthiopiens (Cw), et du Rift éthiopien au climat de type Aw, chaud et humide. Les variations de quelques paramètres climatiques au cours des années 1965-1966 sont présentées par Wood et al. (1976, fig. 7).

Radiation solaire: Moyenne annuelle: environ $450 \text{ cal. cm}^{-2}.\text{d}^{-1}$; maxima: février-mars, et octobre (environ $600 \text{ cal. cm}^{-2}.\text{d}^{-1}$); minimum : juin-juillet-août (environ $350 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{d}^{-1}$).

Vents: Vents du NE pendant la saison sèche (septembre-mai), vents du SW pendant la saison des pluies (juin-septembre).

La vitesse des vents est moindre ($1-3\text{m.s}^{-1}$) pendant la saison des pluies que pendant la saison sèche ($1-8\text{m.s}^{-1}$).

Les lacs occupent des cratères volcaniques. A l'exception du cratère du L. Kilotes, fortement érodé, les autres cratères sont profonds et parfaitement préservés; les lacs sont ainsi bien protégés du vent.

Pluies: Moyenne annuelle: environ 800 mm.an^{-1} ; maximum: fin juin-mi-septembre ("grandes pluies"). Une petite saison des pluies s'observe la plupart des années entre février et mai ("petites pluies").

Température de l'air: Moyenne annuelle: environ $17-18^{\circ}\text{C}$; maximum: avril-juin; minimum: juillet-septembre

3. Morphométrie

Les caractères morphométriques sont mentionnés dans le tableau 6.2. Ces lacs de cratère, de forme circulaire, ont une superficie comprise entre 0,5 et 1 km².

4. Hydrographie et hydrologie

Ces lacs sont alimentés par les pluies et le ruissellement local. Ils n'ont pas d'exutoire de surface. Les apports et les pertes par voie souterraine ne sont pas évalués. L'évaporation sur les lacs est certainement largement responsable de la concentration des eaux en sels dissous.

5. Caractères physico-chimiques des eaux

Les données disponibles sont mentionnées dans le tableau 6.2. La température des eaux de surface voisine habituellement 20-22°C. Le bilan thermique annuel a été évalué pour trois de ces lacs par Wood et al. (1976). Il est de $5,7 \cdot 10^3$ cal.cm⁻² pour le lac Pawlo, $4,95 \cdot 10^3$ cal. cm⁻² pour le lac Bishoftu, et $3,1 \cdot 10^3$ cal. cm⁻² pour le lac Aranguadi.

Bien que la salinité totale des eaux diffère entre ces cinq lacs, tous sont de même type chimique, carbonaté-bicarbonaté sodique. En considérant la concentration ionique totale, deux groupes peuvent être distingués: les lacs Bishoftu, Pawlo et Bieta Mengest sont des lacs aux eaux peu minéralisées, alors que les lacs Aranguadi et Kilotes sont très concentrés en sels minéraux.

Le pH des lacs aux eaux les plus diluées est de 9,2, alors que les lacs Aranguadi et Kilotes ont un pH de 10,3 et 9,6 respectivement. Des fluctuations saisonnières du pH ont été observées; elles sont liées aux variations de densité du phytoplancton et de la stratification chimique des eaux (Prosser et al. 1968).

Brassage des eaux: Généralement, on observe un réchauffement des eaux superficielles conduisant à une stratification thermique entre février et septembre, et un refroidissement entre septembre et décembre. Un brassage complet des eaux se produit fréquemment à la fin de chacune de ces périodes (Wood et al. 1976).

6. Biologie des lacs

Peu de données concernent ces lacs. Le phytoplancton a été cependant assez bien étudié, en particulier pour les lacs très alcalins dont la productivité est très élevée. Le phytoplancton est toujours dominé par les Cyanophycées. Celui du lac Bishoftu est modérément abondant, avec Microcystis aeruginosa comme espèce dominante. Cette espèce caractérise également le lac Pawlo, où elle peut former des fleurs d'eau à certaines saisons. Spirulina platensis atteint de très fortes densités dans les lacs les plus alcalins, L. Kilotes et L. Aranguadi (Baxter et al. 1965). Ces lacs à Spirulina ont une productivité primaire extrêmement élevée (Talling et al. 1973; Wood 1968). La teneur en chlorophylle a est supérieure à $2000 \cdot 10^{-6}$ g.l⁻¹ pour le lac Aranguadi, d'environ $75 \cdot 10^{-6}$ g.l⁻¹ pour le lac Kilotes. Elle

n'atteint que 20 à $30 \cdot 10^{-6} \text{ g.l}^{-1}$ pour les lacs Bishoftu, Pawlo et Biete Mengest.

La flore de diatomées reflète également le chimisme des eaux avec de nombreuses espèces d'eau fortement alcaline (Gasse *et al.* 1983).

La faune de ces lacs est mal connue. On sait que le copépode planctonique *Paradiaptomus africanus* est très abondant dans les lacs les plus alcalins, L. Aranguadi et L. Kilotes.

Tableau 6.2: Morphométrie et caractères physico-chimiques des lacs de Bishoftu

	L. Bishoftu	L. Pawlo	L. Biete Mengest	L. Aranguadi	L. Kilotes
Altitude (m)	1870	1870	1850	1900	2000
Superficie (km ²)	0,929	0,579	1,029	0,541	0,771
Profondeur maximale (m)	87	65	38	32	6,4
Profondeur moyenne (m)	55	38	17,5	18,5	2,6
Volume (m ³ .10 ⁶)	52	22	18	10	2
Variation du niveau lacustre (oct.63-juillet 64) (cm)	30	30	30	25	60
Température de surface (°C)	23	19,2-24,5		18-20	19,5-25
pH	9,2	9,2	9,2	10,3	9,6
Conductivité (10 ⁻⁶ S.cm ⁻¹)			2500		5000
ions (total en meq.l ⁻¹)	48,0	22,8	62,4	149,8	153,1
Na (meq.l ⁻¹)	16,0	5,5	23,9	67,0	70,5
K (meq.l ⁻¹)	1,5	1,05	1,31	8,1	4,5
Ca (meq.l ⁻¹)	0,37	0,55	0,34	0,67	0,7
Mg (meq.l ⁻¹)	5,8	4,65	3,94	moins de 0,6	moins de 0,6
Alcalinité (meq.l ⁻¹)	20	10,2	26,8	51,4	63,4
Cl (meq.l ⁻¹)	4,0	0,9	5,67	22,0	13,6
SO ₄ (meq.l ⁻¹)	0,35	moins de 0,1	0,4	0,7	0,4
PO ₄ - P (mg.l ⁻¹)	0,005	0,005	0,005	3,2	6,5
SiO ₂ (mg.l ⁻¹)	38	38	55	50	32
NO ₃ + NO ₂ - N (mg.l ⁻¹)	0,02	0,04	0,005	0,005	0,005

6.1.d. LES LACS DE L'AFAR

L'Afar est une dépression triangulaire d'environ 150 000 km², et dont le plancher s'abaisse depuis le pied de l'escarpement éthiopien jusqu'à -155 m en-dessous du niveau de la mer. Malgré son climat hyperaride, quelques lacs et marécages, vestiges des périodes humides de l'Holocène, persistent dans ce désert.

Géologie: L'Afar est une zone d'interférence entre deux mégasstructures tectoniques: Le Rift Ethiope, qui vient mourir en Afar méridional, et la structure courbe Golfe d'Aden - Rift de l'Afar - Mer Rouge, de type océanique. Le Rift de l'Afar, qui prend en écharpe l'Afar Central et Septentrional, est une zone en voie

d'extension depuis le Miocène. Le volcanisme, principalement basaltique, est encore actif le long des axes d'expansion actuelle ("Rift in rift" d'Asal, chaîne de l'Erta Alé etc...). L'activité tectonique, incessante depuis le Miocène, est responsable de la topographie: l'Afar est une mosaïque de horsts et de grabens découpés dans d'épaisses séries basaltiques d'âge Pliocène à Actuel. La plupart de ces grabens, asséchés aujourd'hui, ont été occupés par de vastes lacs au cours des phases pluvieuses du Quaternaire. Ils ne sont plus alimentés à présent que par des sources hydrothermales jalonnant les escarpements de faille. Certains bassins sont encore occupés par des lacs résiduels qui se maintiennent par les apports de la rivière Awash descendant des plateaux éthiopiens, ou par des apports souterrains.

Climat: Le climat est chaud et sec, et l'aridité s'accroît depuis le pied de l'escarpement éthiopien (type BSh) jusqu'aux zones les plus déprimées (type BWh), comme l'illustre la fig. 6.4.

Précipitation: La pluviosité décroît de 1000-500 mm.an⁻¹ au pied des reliefs, à moins de 200 mm.an⁻¹ en Afar Central, et à quelques millimètres par an dans les secteurs les plus profonds de l'Afar Septentrional. Au Nord et jusqu'à la latitude de Djibouti, les pluies tombent principalement en hiver, entre octobre et mars. En Afar central et méridional, on observe deux maxima, l'un en avril, l'autre en juillet-août, l'essentiel des pluies tombant en été (fig. 6.4).

Evaporation et température: Les températures moyennes sont toujours supérieures à 25°C, et celles des mois les plus froids (décembre, janvier) supérieures à 20°C. Le gradient thermique reflète les variations d'altitude, et des températures excédant 40°C, et même 50°C, ont été fréquemment enregistrées dans les régions situées en-dessous du niveau de la mer.

Le gradient d'évaporation suit le gradient thermique, et les valeurs mesurées pour l'évaporation s'étalent entre 2000 mm.an⁻¹ et 4500 mm.an⁻¹.

Situés dans des régions peu hospitalières et souvent très difficiles d'accès, les milieux aquatiques de l'Afar sont très mal connus. Nous considérerons successivement les lacs et les marécages appartenant au système de la rivière Awash, puis le lac Asal, alimenté principalement par des eaux souterraines. Le lac Afrera, situé en Afar septentrional, ne sera pas traité car sa profondeur est de l'ordre de 160 m.

6.1.d.1. Lacs et marécages du bassin de la rivière Awash (fig. 6.5)

La rivière Awash, qui prend sa source sur les plateaux éthiopiens à proximité d'Addis Abeba, a un bassin versant de 76 000 km², et une longueur d'environ 1200 km. Elle pénètre en Afar dans la région de Metehara, après avoir traversé le lac Koka, lac de barrage. Dans sa moyenne et dans sa basse vallée, l'Awash est jalonnée par une série de lacs et de marécages, avant de se jeter dans son lac terminal, le lac Abhé. Ces milieux aquatiques sont très mal connus; quelques caractères chimiques sont mentionnés dans le tableau 6.3. La figure 6.5 représente l'ensemble du bassin de l'Awash, le débit de l'Awash, de ses affluents et des sources dans les différentes parties du cours, ainsi que les pertes par évaporation et par irrigation. De l'amont vers l'aval se succèdent:

- Le lac Beseka (= L. Metehara): à proximité du village de Metehara, le petit lac Beseka, d'environ 6 km², se situe en fait à l'écart de la rivière Awash dont il est distant d'environ 6 km. C'est un lac d'origine volcano-tectonique, aux eaux très concentrées en sels minéraux, sans doute alimenté en grande partie par des sources thermales.
- Le lac Hertale: il est relié à la rivière Awash par une zone marécageuse. Bien que ses eaux soient beaucoup moins concentrées que celles du lac Beseka, son pH s'élève au-dessus de 11.
- Les marécages de Gawani: dans la plaine de Gawani, l'Awash traverse une vaste zone marécageuses recouvrant une surface variant de 600 à 1 000 km² environ en fonction des crues de la rivière. En période d'étiage, les eaux de ces marécages ont une forte teneur en sels, et sont de type bicarbonaté-chloruré sodique. La flore de diatomées, à Cyclotella meneghiniana abondant, caractérise bien ce faciès chimique (Gasse et al. 1983).
- Les marécages de Dubti-Assaita: arrivée dans sa basse vallée, l'Awash divague dans ses propres alluvions dans une plaine d'inondation d'une surface de 100-150 km². Cette plaine est actuellement utilisée pour la culture du coton qui utilise les eaux de l'Awash par un système de canaux d'irrigation.
- Les lacs Gamari, Afambo et Bario, et les marécages associés: à l'aval d'Asayita, la rivière Awash se divise en trois bras principaux qui alimentent trois lacs d'eau douce et des marécages dont la surface totale est d'environ 150 km². La végétation aquatique est dense, avec de nombreux îlots de Phragmites. La faune de Vertébrés (hippopotames, crocodiles, phacochères, oiseaux aquatiques) est très abondante.
- Le lac Abhé: c'est le lac terminal de ce bassin endoréique.

1. Géographie et morphométrie

Localisation: Ethiopie et Djibouti: 11°01'-11°18'N; 41°40'-41°54'E.

Altitude: environ 235 m.

Superficie: Bassin versant (= bassin de l'Awash): 76 000 km²; lac Abhé : 250 km² environ. La surface du lac Abhé a régressé de 400 km² à environ 250 km² entre 1954 et 1984, la principale raison de cette régression étant les pompages réalisés à l'amont pour l'irrigation.

Paysage: Les berges du lac Abhé sont très plates à l'Est et au Sud. Le lac est limité par des escarpements de faille découpés dans des basaltes au Nord et au Sud-Ouest. Au Nord-Ouest, il est dominé par l'imposant appareil volcanique du Dama Alé.

Morphométrie: Largeur maximale: 45 km environ; longueur maximale: 45 km environ; profondeur moyenne: inférieure à 12 m; profondeur maximale: 36 m.

Volume: environ 4200.10^6 m^3 .

Le lac a subi des fluctuations de niveau des eaux spectaculaires au cours du Quaternaire supérieur. Ainsi, à l'Holocène inférieur et moyen (10 000-5000 ans BP), le lac recouvrait une surface de 6000 km^2 et sa profondeur atteignait 160 m. Il recouvrait alors toute la basse vallée de l'Awash (Gasse 1975).

Tableau 6.3: Caractères chimiques des lacs et marécages du bassin de la rivière Awash

	L. Beseke (1)	L. Hertale (2)	Gawani Swamps (3)	L. Gamari littoral (3)	L. Gamari offshore (3)	L. Abhé (4)	L. Asal (4)
TDS (mg.l^{-1})			12 100		640	160	348
Conductivité ($10^{-6} \text{ S.cm}^{-1}$)	72 500						
pH	10,0-10,1	11,3	9,0	8,0	8,0	9,8-11	8,0-8,5
Na (mg.l^{-1})	17 800	805	3940	95,6	140	55 000	104 340
K (mg.l^{-1})	406	47	120	8,1	11,0	840	5104
Ca (mg.l^{-1})	3	5	3,6	16,4	38,2	5	2640
Mg (mg.l^{-1})	7,5	--	2,8	10	11,0	1,4	12366
$\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ (meq.l^{-1})	580	28	50	--	60	1060	3,6
Cl (mg.l^{-1})	5480	240	3500	60	55,3	40 835	196 756
SO_4 (mg.l^{-1})	4550	64	1545	--	42	17 000	2554
SiO_2	--	--	175	--	35	--	12,5
Total P (10^{-6} g.l^{-1})	11 000	--	--	--	--	--	--

(1): Talling & Talling 1965; (2): Pittwell 1967; (3): Gasse 1975;

(4) : Lopoukhine 1973.

2. Hydrologie

Les données ici présentées sont empruntées au rapport de l'ONU (FAO), 1973. Depuis, le débit de l'Awash à son embouchure a considérablement diminué du fait de l'irrigation en amont. D'après les chiffres de la FAO, le bilan hydrologique du lac peut s'écrire de la façon suivante:

Apports: total 2100.10^6 m^3 ; précipitation sur le lac : 2,4% + débit de l'Awash : 97,6%

Pertes: total 2100.10^6 m^3 ; évaporation env. 80% + infiltration env. 20%.

3. Caractères physico-chimiques des eaux: voir tableau 6.3.

4. Biologie du lac: Elle n'a pas été étudiée.

Des algues bleues responsables de la construction de stromatolithes peuplent les griffons des nombreuses sources thermales de la bordure est du lac. Les berges sont habitées par d'importantes colonies de flamants roses.

6.1.d.2. Lac Asal

1. Géologie, géographie et morphologie

Localisation: République de Djibouti; 11°28'-11°26'N; 42°23'-42°28E.

Altitude: 155 m en-dessous du niveau de la mer.

Le lac salé Asal, dont le bassin versant recouvre 900 km², occupe un bassin fermé d'origine tectonique de direction SE-NW, découpé dans des basaltes d'âge Plio-pléistocène à Actuel. La topographie du bassin est dominée par des escarpements de failles SE-NW atteignant jusqu'à 500-1000 m de hauteur dans la partie nord. Le lac est séparé de l'Océan (Ghoubbat-al-Kharab) par un isthme étroit (5 km), long d'une douzaine de kilomètres. Cet isthme, intensément faillé est parcouru par un axe volcano-tectonique actif: le Rift d'Asal, structure de type océanique en voie d'expansion latérale (1 cm.a⁻¹). En raison du gradient hydraulique, le lac est largement alimenté par de l'eau de mer qui s'infiltre à travers l'isthme fissuré (Bosch *et al.* 1974, Gasse 1975, Fontes *et al.* 1979, 1980).

Au cours des dix derniers millénaires, le lac Asal a subi des fluctuations de niveau considérables puisque, entre environ 9500 et 6000 BP, il a atteint la cote +160 m (soit plus de 300 m au-dessus de son niveau actuel). Le lac était alors un grand lac (1100 km²) d'eau douce où précipitaient des carbonates tapissant aujourd'hui le fond de la cuvette. La régression majeure, postérieure à 6000 BP, a entraîné le dépôt d'une banquette de gypse cernant, à l'altitude -100 m, la saumure et la plaine de sel actuelles. Le lac Asal se subdivise en deux parties:

- le lac sensu stricto, avec une surface de 54 km², une profondeur moyenne de 7,4 m, et un volume de 400.10⁶ m³ (Languth & Pouchan 1975);
- une plaine de sel (halite) (60 km²) en forme de croissant, s'étendant au N-NW du lac, à 20-30 cm au-dessus du plan d'eau.

Une crise volcano-tectonique récente du Rift d'Asal (1978) a entraîné l'élargissement des fissures affectant le seuil Lac Asal-Ghoubbat-al-Kharab, et une augmentation des apports d'eau de mer. Il en résulta une montée du niveau du lac d'environ 50 cm et la submersion partielle de la plaine de sel. Actuellement, le lac sensu lato a une surface d'environ 115 km² et le volume total de la saumure est d'environ 420.10⁶m³.

2. Hydrologie

Le lac Asal est principalement alimenté par des eaux souterraines, et les pertes sont dues à l'évaporation et à des infiltrations. L'importance des apports et des pertes souterraines, difficiles à évaluer, n'a pas permis, jusqu'à présent, d'établir le bilan hydrique du lac.

Apports: Précipitations sur le lac: 20.10⁶ m³.an⁻¹

Ruissellement de surface : 12.10⁶ m³.an⁻¹

Sources d'origine marine : elles représentent l'essentiel des apports. Il s'agit de sources froides (32-35°C) émergeant le long du rivage SE entre les coulées de laves récentes. Leur chimisme,

ainsi que la teneur des eaux en isotopes stables et en tritium confirment leur origine marine et indiquent que les eaux de mer transitent rapidement à travers l'isthme Asal-Ghoubbat-al-Kharab (Fontes et al. 1979-80).

Sources d'origine continentale: ces sources chaudes, réparties le long des marges E et SW du lac, sont des résurgences d'eau météoriques infiltrées à travers les basaltes fissurés du bassin (Fontes et al. 1980).

Evaporation: environ 80% des pertes.

Infiltrations à travers le fond du lac fissuré: 20% environ.

3. Caractères physico-chimiques des eaux (tableau 6.3)

Le lac Asal est hypersalé, et ses eaux, 10 fois plus concentrées que l'eau de mer, sont saturées en halite qui précipite sur le fond du lac et dans la plaine de sel. Le gypse précipite également le long des fractures affectant le fond du bassin, et forme des récifs à grands cristaux, émergeant de place en place de la saumure.

4. Biologie

La biocénose est pauvre et très mal connue. Des bactéries et des cyanobactéries (Oscillatoria et rares Chroococcus) croissent dans la saumure et dans la vase de fond, au pied des cristaux de gypse. Les petites vasques d'eau alimentées par les sources périphériques sont par contre colonisées par de nombreux organismes, tels que Chlorophycées (Enteromorpha, Cladophora), Diatomées (Gasse et al. 1983, Gasse 1985), Cyanophycées, mollusques (Melanoides tuberculata) et poissons (Aphanius spp.).

6.1.e. LES LACS DU RIFT ETHIOPIEN (lacs Galla)

Géologie et géographie (Fig. 6.2)

Le Rift éthiopien est un fossé tectonique limité par des failles normales et caractérisé par un volcanisme à prédominance acide (Di Paola, 1972). Des ignimbrites d'âge Mio-Pliocène, associées à des dépôts de ponces, des laves pantelléritiques et des obsidiennes, constituent le plancher du rift. Depuis la mise en place des escarpements majeurs (1.8 à 1.6 million d'années), l'activité volcanique a été confinée à la Wonji Fault Belt, une zone de failles normales de direction NNE-SSW, de 5 à 15 km de large, et disposée en échelon le long du Rift. Les principaux centres éruptifs, de type calderas, sont le mont Bora, le mont Alutu et la Caldera Corbetti. Ces appareils ont produit de volumineux dépôt de ponces et des coulées d'obsidienne. En raison de ce contexte géologique, les sédiments sont riches en verre rhyolitique et produits d'altération (en particulier en montmorillonite).

Quatre bassins topographiques, séparés par des seuils volcaniques, sont occupés par des lacs, ou des ensembles de lacs. Du Nord au Sud, on distingue:

- Le bassin des lacs L. Ziway, L. Abiyata, L. Langano, L. Shala

Les lacs Ziway, Langano et Abiyata s'étendent dans des cuvettes peu profondes effondrées dans un plancher d'ignimbrites. Le lac Shala occupe une profonde caldera d'âge Pliocène. Les lacs Ziway et Langano sont drainés en surface vers le lac Abiyata. Actuellement, il n'existe pas d'écoulement superficiel vers le lac le plus bas, le lac Shala, mais un réseau hydrographique témoigne d'un écoulement récent. Pendant les périodes humides de Quaternaire, ces quatre lacs formaient un lac unique d'altitude 1670 m, le lac Ziway-Shala, qui se déversait au nord vers la rivière Awash, donc vers le lac Abhé (lac terminal de la rivière Awash et situé en Afar) (Street-Perrott 1979; Gasse & Street 1978). Pour ces raisons, le lac Shala, bien que profond, sera brièvement considéré ici.

- Le bassin du lac Awasa: il est séparé du bassin de Ziway-Shala par la Caldera Corbetti.

- Le bassin des lacs Abaya et Chamo

Ces deux lacs, situés à 400 m en contrebas du précédent, sont reliés entre eux par un cours d'eau. Ces deux lacs formaient également un lac unique durant les périodes pluvieuses du Quaternaire récent (Grove & Goudie 1971).

- Le lac Chew Bahir

Ce lac, le plus souvent asséché, se situe au confins de la frontière kenyanne. Très mal connu, il ne sera pas considéré ici.

Climat

Il est de type Aw d'après la classification de Köppen, avec une saison humide (juillet-septembre), une saison sèche d'hiver (octobre-janvier) et une saison intermédiaire (février-juin).

Les données quantitatives présentées sont relatives à la partie nord du Rift éthiopien (bassin de Ziway-Shala). Elles sont empruntées à Makin et al. (1976).

Radiation solaire: Il n'existe pas de longues séquences d'enregistrement, et les valeurs avancées sont des estimations. Radiation solaire nette à Ziway: $1731 \cdot 10^6 \text{ cal. m}^{-2} \text{ a}^{-1}$; maximum: mars et octobre (500 et 510 $\text{cal. cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ respectivement); minimum en juillet-août-septembre (440 à 460 $\text{cal. cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

Vents: Saison humide: vents d'est ou de sud-ouest; saison sèche: vents secs du nord-est; Saison intermédiaire: vents du sud.

La vitesse moyenne du vent est assez élevée, voisinant 1,19 m/s tout au cours de l'année. Les périodes les plus ventées se situent de novembre à janvier, et en juin avant les fortes pluies.

Précipitations: Moyenne annuelle: 600 mm a^{-1} (variation de 880 à 383 au cours de la période 1914-40 et 1956-69); maximum: juillet à septembre (50% des pluies); minimum: octobre à janvier. Précipitation très variable entre février et juin.

La pluviosité s'accroît avec l'altitude sur les flancs du Rift éthiopien qui constituent l'essentiel des bassins versants des rivières alimentant les lacs, et jusqu'aux hauts reliefs où naissent les cours d'eau.

Evaporation: Evaporation potentielle moyenne annuelle: 2000 mm.a⁻¹ à Ziway.

Les variations saisonnières, de 142-154 mm par mois en saison de pluies, et 155-201 mm entre octobre et mai, sont relativement faibles.

Température de l'air: Température moyenne annuelle: 19,3°C; maximum: mars à juin. Variations journalières faibles; minimum: octobre à janvier. Variations journalières importantes.

La température s'abaisse souvent en-dessous de 10°C et parfois à 4 °C.

Les données géographiques et morphométrique et les caractères physico-chimiques des eaux sont regroupés dans les tableaux 6.4 et 6.5.

Les caractères biologiques sont ensuite présentés pour chaque lac, du plus septentrional (L. Ziway), au lac Chamo.

6.1.e.1. Lac Ziway

Le lac Ziway est une étendue d'eau brunâtre ou verdâtre, aux bordures très plates occupées par des marécages, à l'exception des berges Sud et Sud-Est relativement escarpées.

1. Hydrologie

Le lac Ziway est principalement alimenté par des cours d'eau dont les principaux sont la rivière Katar descendant des Monts Arussi à l'Est, et la rivière Méki, à l'Ouest, qui draine les plateaux éthiopiens. Les précipitations sur le lac représentent 74,9% des apports. Le lac est ouvert: la rivière Bulbula évacue le surplus des eaux du lac Ziway vers le lac Abiyata, le débit moyen annuel de cette rivière représentant 18,1% des pertes.

Ce bilan hydrique a été établi par Makin et al. (1976). En moyenne, le bilan est conforme à l'équation suivante:

Apports (moyennes annuelles)				Pertes (moyennes annuelles)			
(10 ⁶ m ³)				(10 ⁶ m ³)			
Débit Katar	+	débit Méki	+ précipitations	=	débit Bulbula	+	évaporat.
390		360	+ 400	=	210		940
		1150		=			1150

Le bilan a été calculé année par année de 1954 à 1973.

Les variations saisonnières du niveau du lac atteignent 50 cm à 1,20 m, les maxima étant atteints en août-septembre, et la période d'étiage se situant en hiver et au printemps (janvier-mai). Les fluctuations interannuelles sont également bien marquées. Ainsi, les niveaux exceptionnellement hauts de 1969-1970 ont été suivis par de très bas niveaux en 1973-1974, les différences entre les maxima ou les minima de ces deux groupes d'années étant de 1 m environ.

2. Macrophytes

Le long des berges, la végétation est contrôlée par le niveau du lac. Le rivage lui-même est bordé par des populations discontinues de Typha et de Cyperus papyrus. En pleine eau, on observe une ceinture flottante quasi-continue de Phragmites associés à Nymphaea. Les bordures du lac périodiquement inondées, ainsi que les rives de la rivière Bulbula, sont jalonnées de buissons de la légumineuse Aeschynomene elaphroxylon (Makin et al. 1976).

3. Phytoplankton

Les algues sont principalement représentées par des Cyanophycées, Microcystis flos-aquae formant parfois des fleurs d'eau. Cette espèce est accompagnée de Aphanothece, Chroococcus, Merismopedia, Gloeotrichia et Spirulina, peu abondants. Les Chlorophycées sont assez rares et sont principalement représentées par Pediastrum (P. boryanum, P. integrum, P. simplex). (Cannicci & Almagià 1974). La microflore des diatomées est dominée par Melosira granulata, son caractère le plus remarquable étant la présence de grands Surirella caractéristiques des lacs est-africains (cf. S. engleri).

4. Invertébrés

Le zooplancton est dominé par les Rotifères (17 espèces dont 6 Brachionus) parmi lesquels les espèces les plus abondantes sont Brachionus angularis, B. forficula, et secondairement B. calyciflorus, Keratella valga et Asplanchna seiboldi. La faune de Rotifères est encore plus diversifiée si l'on tient également compte des formes vivant sur les plantes submergées (29 espèces au total). Les Crustacés sont moins abondants. Diaphanosoma excisum est la forme dominante, suivie de Cyclops hyalinus, C. leukarti et Chydorus ovalis, fréquemment rencontrés à l'état larvaire. Des Chronomidae (du genre Macropelopia et Chironomus) ont été observés dans la vase de fond (Cannicci & Almagià 1947).

Les mollusques sont nombreux dans ce lac d'eau douce riche en végétation aquatique (14 individus par m²). Onze espèces de Gastéropodes ont été rencontrées. Parmi les plus fréquentes, citons Melanoides tuberculata, Lymnaea natalensis, Bulinus truncatus, B. forskali, Anisus natalensis, Biomphalaria sudanica, etc. (Brown 1965).

5. Poissons

La faune piscicole du lac Ziway est peu diversifiée puisque huit espèces seulement ont été inventoriées. Elles appartiennent à deux familles, les Cichlidae (avec Oreochromis niloticus) et les Cyprinidae (avec cinq espèces de Barbus dont une définie dans le lac Ziway: B. zwaicus, et Discognathus) (Tedla 1973).

6. Autres Vertébrés

Les hippopotames sont abondants dans la partie nord du lac. Les crocodiles sont absents. La faune avicole est riche et est dominée par Pelecanus onocrotalus et Aningha rufa. On note aussi la présence

de Phalacrocorax lugubris, Anas crecca, Egretta garzetta, Bubulcus ibis, et Larus fuscus. Merops nubicus est commun le long de la rivière Bulbula.

7. Activités humaines et aménagement

La pêche dans le lac Ziway est pour l'instant la principale exploitation exercée. La production est évaluée à 69 kg/ha/an, soit un potentiel naturel de 3000 t par an, mais à peine la moitié de ce tonnage est pêché actuellement. Les berges, envahies par la végétation, sont difficilement accessibles et la pêche s'effectue en bateau, de l'aube au crépuscule. Une perte importante est donc inévitable en raison des conditions thermiques. L'absence de Clarias donne une grande valeur aux ressources piscicoles. Barbus et tilapias sont récoltés. La plupart des produits de la pêche sont expédiés à Addis-Ababa par camions frigorifiques. Bien qu'encore en sous-exploitation, la pêche au lac Ziway constitue une ressource économique non négligeable, les systèmes de transport et de vente étant bien organisés.

Une autre possibilité d'exploitation est le développement de l'irrigation au moyen de pompes aux alentours du lac Ziway (Makin et al. 1976), en vue de développer l'agriculture. Une mise en valeur d'une surface de 5500 ha est envisageable. Un tel aménagement nécessiterait l'installation d'une écluse sur la bouche de la rivière Bulbula qui permettrait le nivellement du lac en dépit du pompage des eaux.

6.1.e.2. Lac Abiyata

Le lac Abiyata, aux eaux vertes, s'étend au coeur d'une zone de savane claire à Acacia. De forme grossièrement triangulaire, ses rivages ont des pentes très douces au nord, plus fortes dans la moitié sud.

1. Géographie et morphologie: voir tableau 6.4.

2. Hydrographie et hydrologie

Le lac Abiyata est alimenté par les précipitations locales et par plusieurs cours d'eau (77,5% des apports): la rivière Bulbula, exutoire du lac Ziway, la rivière Horacolla s'écoulant du lac Langano, et la rivière Gogessa, intermittente. Actuellement, le lac Abiyata est fermé et les pertes sont dues à la seule évaporation, si l'on admet que les infiltrations souterraines représentent un volume d'eau négligeable (Makin et al., 1976).

Les variations saisonnières du niveau des eaux ont une amplitude de 40 cm à 1 m, mais les fluctuations interannuelles sont beaucoup plus importantes. Elles ont, par exemple, dépassé 3 m entre 1969 et 1973, avec un maximum en 1971. Entre 1956 et 1977, la surface du lac a varié de 142 à 181 km², soit de 40 km² environ, ce qui correspond à un changement de niveau de 5 m environ, et à une variation de volume des eaux de 820.10⁶ m³ (Makin et al. 1976).

3. Caractères physico-chimiques: voir tableau 6.5.

4. Biologie

La biocénose du lac Abiyata est pauvre et encore très mal connue.

La flore des macrophytes se limite à quelques touffes de Juncus à proximité de l'embouchure de la rivière Bulbula.

La productivité primaire est relativement élevée, comparée à celle des lacs voisins, puisque la teneur en chlorophylle est de 56.6 mg.m^{-3} (Wood et al. 1979). La flore algale n'est pas connue à l'exception des diatomées. Les associations de diatomées sont typiques des lacs très alcalins est-africains, et se caractérisent par les forts pourcentages de Navicula elkab, Anomoeoneis sphaerophora, Thalassiosira rudolfi, Rhopalodia gibberula et Nitzschia spp. Les communautés littorales et planctoniques sont très comparables (Gasse et al. 1983).

Le zooplancton est peu abondant. Huit espèces de Rotifères ont été identifiées dans les récoltes d' Omer-Cooper (1930) parmi lesquelles Brachionus calyciflorus, B. plicatilis et B. forficula sont les plus fréquentes. Les crustacés sont représentés par des copépodes (5 espèces), avec Cyclops agiloides dominant. La faune de fond est inexistante, à l'exception de quelques larves de Chironomidae du genre Chironomus. Les mollusques sont rares (Bellamya unicolor, Helicarion ruppellianum) (Cannicci & Alamagià 1947; Brown 1965).

La faune piscicole n'a pas été étudiée en détail. Les Cichlidés sont nombreux (Barbus gregorii dominant). L'abondance des oiseaux aquatiques piscivores suggère que la production de poissons est régulière et importante. En effet, la consommation annuelle de la seule population des grands pélicans blancs (7500-12 000 couples) est estimée à 3140-5040 tonnes de poissons (Brown & Urban 1969).

La faune avicole est très diversifiée. Aux pélicans blancs, Pelecanus onocrotalus, s'ajoutent Phoeniconaias minor, Phalacrocorax lugubris, Ephippiorhynchus senegalensis, Anhinga rufa, Recurvirostrata avosetta, Anas creca, Larus fuscus etc.

Il n'y a ni crocodile ni hippopotame.

Actuellement, aucune pêche commerciale n'est effectuée sur le lac Abiyata, préservé comme réserve d'oiseaux.

6.1.e.3. Lac Langano

Le lac Langano, aux côtes souvent rocheuses, est le plus proche des hauts relief des Monts Arussi. Ses eaux sont brun-rougeâtre en raison de leur charge en particules silteuses en suspension.

1. Hydrographie et hydrologie

Le lac Langano est alimenté par les précipitations sur le lac (20,1%

Tableau 6.4. Lacs du rift éthiopien
Situation et données morphométriques

	L. Ziway	L. Abiyata	L. Langano	L. Shala	L. Awasa	L. Abaya	L. Chamo
Latitude N	7°50'-8°8'	7°36'-7°44'	7°32'-7°43'	7°21'-7°35'	6°57'-7°30'	6°00'-6°37'	5°42'-5°59'
Longitude E	38°44'- 38°55'	36°30'- 36°41'	36°40'- 36°49'	38°24'- 38°39'	38°24'- 38°32'	37°41'- 38°07'	37°32'- 37°46'
Altitude (m)	1636	1578	1582	1558	1680	1285	1283
Longueur (km)	28,75	20,90	23,25	25,25	17,25	70,20	35,80
Largeur (km)	19,75	12,40	16,00	16,75	11,00	29,00	22,70
Périmètre (km)	102,0	61,9	77,5	110,0	52,5	225,0	118
Surface du bassin (km ²)	7025	1630	1600	3920	1250	17300	2210
Surface du lac (km ²)	654	205	230	409	129	1161	551
Profondeur maximale (m)	8	14	46	266	21,6	13	12
Profondeur moyenne (m)	2,52	7,60	19,99	86,09	10,69	7,06	---
Volume (km ³)	1,10	1,56	3,81	37,25	1,34	8,20	---

Tableau 6.5. Lacs du rift éthiopien
Caractères physico-chimiques des eaux de surface

	L. Ziway	L. Abiyata	L. Langano	L. Shala	L. Awasa	L. Abaya	L. Chamo
Température (°C)	22-27	23-26.7	22-26	26-27	23-26	22-24	25-28
Transparence (m)	2,4	8,9	21,9	103	---	---	---
Oxygène dissous	6,03	5,81	3,95	6,42	3,91	5,71	4,06
T D S (mg.l ⁻¹)	320-354,2	8090-8358	1270-1644	15680-16771	650,4	516,5	651,2
Conductivité (10 ⁻⁶ S.cm ⁻¹)	370-427	8646-30000	15680-16771	20400-29500	790-1050	670-900	927
pH	8,7	8,7	9,1	10,1-9,7	8,7	8,0	---
Na (mg.l ⁻¹)	64	2870-6375	500	5900	235	101,5-206	---
K (mg.l ⁻¹)	14,0	75,3-331	27.5	112-440	45	14,1-16	---
Ca (mg.l ⁻¹)	10,2	53-10	2.5	10	4,4	12,1-15,9	---
Mg (mg.l ⁻¹)	9,8	0,8-10	2,7	8,8-0,74	4,7	5,7-6,8	---
HCO ₃ +CO ₃ (meq.l ⁻¹)	3,92	80-210	15,0	268	10,5	8,50	---
Cl (mg.l ⁻¹)	18	1415-3240	216	2786-3156	34	53-52	---
SO ₄ (mg.l ⁻¹)	2	67,4-720	28	128,7-143	2-27	24,6-28	---
SiO ₂ (mg.l ⁻¹)	47	55,65-130	68-54	150,5	72	35,5-45	---
Total P 10 ⁻⁶ g.l ⁻¹	170	980	165	---	98	290	---

des apports). L'apport en eau par les sources thermales est considéré comme négligeable. L'équilibre du lac est assuré par l'évaporation (89,3% des pertes), et par l'écoulement intermittent de son exutoire la rivière Hora Kallo qui se déverse dans le lac Abiyata (Makin et al. 1976).

Le lac est soumis à des fluctuations de niveau interannuelles dépendantes des variations de précipitations. Le lac a oscillé de 1,67 m entre 1967/68 et 1974. Le niveau maximal a été atteint en 1969, année particulièrement pluvieuse (Street-Perrott 1982).

2. Biologie

Les Juncus et les Scirpus forment une ceinture étroite le long de la côte Est et occupent de petites baies marécageuses au Sud. Les Potamogeton sont abondants dans les parties Nord et Ouest du lac.

Le phytoplancton est représenté par Anabaenopsis circularis (Cyanophyceae) dominant, associé à quelques Chlorophyceae (Pediastrum integrum, Oocystis sp. et Scenedesmus quadricaula) et un groupement assez diversifié de diatomées (Cannicci & Almagià 1974). La flore de diatomées est caractéristique des lacs alcalins est-africains (avec Nitzschia pusilla, N. estohensis, Thalassiosira faurii et T. rudolfi abondants) (Gasse et al. 1983).

La productivité primaire est relativement faible (7,1 mg.m⁻³ de chlorophylle a).

Dans le zooplancton, on note l'abondance des Crustacés Paradiaptomus africanus, Cyclops leuckarti et Hyalodaphnia barbata. Les Rotifères sont peu fréquents (Brachionus angularis, Keratella valga). Des larves de Chironomideae (Macropelopia bimaculata, Chironomus plumosus) ont été observées dans les vases de fond.

Parmi les mollusques, citons Corbicula pusilla, C. saharica et Melanoides tuberculata (Cannicci & Almagià 1947).

La faune piscicole, riche en Cichlidés et en Barbus n'a pas été étudiée en détail du fait que la population n'est pas commercialement exploitable. L'exploitation se limite à la pêche artisanale de Oreochromis niloticus.

Les oiseaux sont abondants, avec Alopochen aegyptiacus, Phalacrocorax lugubris et Anhinga rufa.

6.1.e.4. Lac Shala

Bien que peu profond et stratifié (Baumann et al. 1975), le lac Shala est considéré ici car il appartient au même système que les trois lacs précédents, auxquels il était associé en un lac unique, le lac Ziway-Shala au Pléistocène supérieur et à l'Holocène inférieur et moyen.

Le lac Shala est un lac de caldera aux eaux bleues, transparentes.

1. Hydrologie

Le lac Shala est principalement alimenté par des cours d'eau dont le principal est la rivière Gidu, descendant des plateaux éthiopiens. Un chenal, généralement à sec, relie le lac Abiyata à la rivière Gidu. Ce chenal ne devient fonctionnel que lorsque le lac Abiyata atteint un très haut niveau. Le lac Shala reçoit également d'abondantes sources thermales, dont le débit est considéré comme négligeable. Le lac n'a pas d'exutoire et les pertes sont principalement dues à l'évaporation.

2. Caractères physico-chimiques des eaux: voir tableau 6.5.

3. Biologie

La biocénose est très pauvre. La flore de macrophytes est inexistante. Le phytoplancton est très rare, principalement constitué de diatomées d'eau très alcaline (*Thalassiosira rudolfi*, *Nitzschia* spp...). La productivité est faible: $5,0 \text{ mg.m}^{-3}$ de chlorophylle a.

Le zooplancton est très peu développé: quelques crustacés (*Diaptomus*, *Lytocyclops gibsoni*, *Argulus africanus*, *Cyclops agiloides*, *Diaphanosoma*) des rotifères relativement abondants (*Brachionus calyciflorus*, *Brachionus plicatilis*, plus rarement *Asplanchna sieboldi*).

Le lac est peuplé de Cichlidés (une seule espèce: *Oreochromis niloticus*) (Bonister 1973) mais la production de poissons est faible. Aucune pêche commerciale n'est envisageable.

La faune avicole est cependant très abondante, et comprend de nombreux piscivores. Ces oiseaux vont se nourrir dans le lac Abiyata. Les espèces les plus fréquentes sont *Phoeniconaias minor*, *Pelecanus onocrotalus*, *Phalacrocorax lugubris*, *Ahhinga rufa*, *Bubulcus ibis*, *Fulica cristata*, *Larus fuscus*...

6.1.e.5. Lac Awasa

Le bassin d'Awasa, situé au Sud de la ville de Shashemane, est un bassin tectonique fermé de toute part par des escarpements de failles ou des reliefs volcaniques. Cette cuvette est occupée par le lac Awasa, le plus élevé des lacs du Rift (1780 m), qui se prolonge vers l'Est par une plaine marécageuse ou s'étend le petit lac Shallo. De nombreuses sources hydrothermales jaillissent au niveau de cette plaine.

Les lacs Awasa et Shallo, actuellement reliés par un chenal, ne se seraient séparés que très récemment, au cours des derniers siècles (Mohr 1966).

1. Hydrologie

Le lac Awasa est principalement alimenté par les pluies tombant sur les hauts reliefs situés à l'Est du bassin, par écoulement

superficiel et par les sources d'eau douce de l'escarpement oriental. Le lac n'a pas d'exutoire de surface. Son niveau varie saisonnièrement, parallèlement aux fluctuations de la pluviosité. Les eaux, douces bien qu'il s'agisse d'un lac fermé. Ce chimisme suggère que des infiltrations de saumures s'effectuent à travers le fond du bassin. Les analyses chimiques des eaux de sources et des puits du secteur conduisent à supposer qu'une partie des eaux infiltrées alimente les sources de la côte Ouest du lac Shala (F.A.O. 1973).

2. Biologie

La végétation palustre est principalement constituée de Scirpus, Cyperus papyrus, Nymphaea, Potamogeton et Polygonum.

Le phytoplancton est assez diversifié. Parmi les Cyanophyceae, Microcystis flos aquae forme parfois des fleurs d'eau. S'y ajoutent Aphanothece, Merismopedia et Spirulina. Les Chlorophyceae sont représentées par 4 espèces de Pediastrum, 2 espèces de Scenedesmus, Selenastrum et Euastrum (Cannicci & Almagià 1947). La florule de diatomées est dominée par les Nitzschia (N. palea, N. latens, N. amphibia...) (Gasse et al. 1983).

Le zooplancton est rare. Les Rotifères sont principalement représentés par Brachionus calyciflorus, B. plicatilis et B. forficula, Polyarthra trigla, Keratella valga et Asplanchna sieboldi. Les crustacés les plus communs sont Cyclops hyalinus, C. leuckarti et Diaphanosoma excisum.

Dans la vase du fond, les larves de Chironomidae sont relativement abondantes (54 individus par m²), avec Micropelopia et Chironomus aff. plumosus. Les mollusques sont peu fréquents et peu diversifiés.

La productivité en poissons (Barbus, Clarias, tilapias) est évaluée à 77,5 kg/ha/an. A présent, 100 tonnes de poissons sont pêchées annuellement. Le potentiel naturel du lac permettrait une pêche annuelle de 1000 tonnes.

6.1.e.6. Lac Abaya (= L. Margherita)

Le lac Abaya s'étend dans une vaste zone marécageuse à Aeschynomene elaphroxylon. Dans l'ensemble, la côte est très plate avec quelques promontoires rocheux.

Le lac comprend un bassin septentrional. Le plus grand, est un bassin méridional, ces deux bassins étant séparés par une passe de 3 km de large. Deux grandes îles (îles Sacchi et Bottego) s'observent dans la bassin nord. Dans le bassin méridional, de nombreuses petites îles s'alignent selon une direction N-S.

1. Géographie et morphologie: voir tableau 6.4.

2. Hydrologie

Le lac est alimenté par de nombreux cours d'eau dont le plus

important est la rivière Bilate, de direction Nord-Sud, descendant des plateaux éthiopiens. le lac Abaya a un exutoire, la rivière Ualo, qui s'écoule vers le lac Chamo.

3. Caractères physico-chimiques: voir tableau 6.5.

4. Macrophytes

La flore des macrophytes du L. Abaya est très diversifiée (au moins 35 espèces abondantes). Parmi les macrophytes terrestres, les genres les mieux représentés sont: Aeschynomene, Jussiaea, Hydrocotyle, Oenanthe, Ipomoea, Utricularia, Sphaeranthus, Juncus, Juncellus, Panicum, Leersia, Phragmites, Cyperus, Typha et Paspalidium. Les macrophytes submergés ou flottants sont abondants: Ottelia, Ceratophyllum, Nymphaea, Lemna, Pistia, Potamogeton et Azolla (Brunelli & Cannicci 1941).

5. Phytoplancton

Le phytoplancton est principalement constitué de Cyanophycées (Microcystis flos-aquae et Microcystis aeruginosa), et secondairement Botryococcus braunii (Brunelli & Cannicci 1941). La flore de diatomées planctoniques est très diversifiée. Elle est dominée par Melosira ambigua et Nitzschia amphibia associés à de nombreux Nitzschia considérés comme endémiques d'Afrique de l'Est (cf. N. epiphytocoïdes, N. adapta...) (Gasse et al. 1983).

6. Invertébrés

Les groupes les mieux représentés sont les Rotifères et les Cladocères. Parmi les Rotifères, Keratella quadrata, K. valga est l'espèce la plus abondante. Brachionus militaris est fréquent. Viennent ensuite Hexarthra mira, Tetramastix opoliensis, Asplanchna sieboldi, Polyarthron trigla et Brachionus falcatus. Plusieurs espèces de Cladocères sont uniformément distribués dans le lac, parmi lesquelles Diaphanosoma excisum, Ceriodaphnia reticulata, C. cicuspidata, Hyalodaphnia barbata et Moinia dubia sont les mieux représentées. Les Copépodes identifiés sont Diaptomus kraepelini et Cyclops albidus. Parmi les Chironomidae, Macropelopia aff. bimaculata s'observe dans l'ensemble du lac, parfois accompagné de Chironomus plumosus. Les Mollusques abondent dans ce lac d'eau douce, la faune de Gastéropodes étant assez proche de celles du lac Ziway. Les espèces les plus communes sont: Lymnaea natalensis, Bulinus truncatus, B. ugandae, B. forskali, Anisus natalensis, Biomphalaria sudanica.

7. Poissons

La faune de poissons du lac Abaya est la plus diversifiée des faunes des lacs éthiopiens, avec 28 espèces appartenant aux familles de Bagridae (Bagrus docmac), Centropomidae (Lates niloticus), Characidae, Cichlidae (Oreochromis niloticus, Tilapia zilli),

Clariidae (2 espèces), Cyprinidae (10 espèces de Barbus et 3 espèces de Labeo), Mormyridae (3 espèces) Schilbeidae (1 espèce), Synodontidae (4 espèces). Les trois espèces les plus abondantes sont : Oreochromis niloticus, Barbus gregorii, et Clarias mossambicus. La faune avicole est riche et une vingtaine d'espèces sont inventoriées. Parmi les oiseaux les plus fréquents, citons : Phalacrocorax lugubris, Anhinga rufa, Ardea, Casmerodius, Anas, Sphenorhynchus, Bubulcus ibis, Egretta garzetta, Cuculus vocifer.

Les hippopotames et les crocodiles sont nombreux. Les varans et les pythons ne sont pas rares, en particulier dans les îles.

8. Activité humaine et aménagement

Actuellement, le lac est principalement exploité de façon artisanale pour la pêche de la Perche du Nil (Lates niloticus). Sa production élevée (60 kg/ha/an soit 7000 tonnes/an) permet d'envisager l'installation d'une pêcherie industrielle. Ce projet prévoit la congélation de la Perche du Nil (3000 tonnes/an) et la salaison des autres poissons (4000 tonnes/an) dans une usine installée en bordure du lac.

6.1.e.7. Lac Chamo

Le lac Chamo, de forme ovale, est séparé du lac Abaya par un isthme rocheux de 5 km de large. Ses eaux sont bleu-vert en raison de l'abondance du phytoplancton.

1. Hydrologie

Le lac Chamo reçoit le surplus des eaux du lac Abaya par l'intermédiaire de la rivière Uafo. Il n'a pas d'exutoire. Ses eaux étant douces malgré tout, on peut supposer une perte importante d'eau concentrée en sels par infiltration.

2. Biologie

Les bordures marécageuses du lac sont principalement peuplées de Typha. Le phytoplancton est dense et essentiellement constitué de Cyanophyceae. A Microcystis flos-aquae, dominant, s'ajoutent Gomphosphaeria lacustris et Anabaenopsis circularis. Les autres algues sont par contre rares (quelques individus de Pediastrum simplex et Peridinium sp.).

Le zooplancton est essentiellement constitué de rotifères (Brachionus calyciflorus et Pompholix complanata dominants) et de crustacés. Les crustacés les plus abondants sont Cyclops hyalinus, C. leuckarti, Diaphanosoma excisum et Ceriodaphnia rigaudi. On remarque la présence de Moina dubia, également inventorié dans les lacs Awasa et Shala. Le protozoaire du genre Turicola a été signalé.

Les mollusques lamellibranches et gastéropodes sont assez diversifiés. Citons : Aetheria elliptica, Aspatharia rubens, Corbicula pusilla, Limicolaria barderensis, Planorbis herbini.

Les poissons sont abondants et le stock d'espèces est très proche de celui du lac Abaya. Les espèces dominantes sont Lates niloticus et Bagrus docmac.

Les crocodiles sont très nombreux, les hippopotames plus rares. Actuellement, l'exploitation du lac se limite à la pêche artisanale de la Perche du Nil. La productivité du lac en poissons n'a pas été estimée mais il est probable qu'elle est suffisamment élevée pour que la pêche commercialisée soit envisageable.

6.2 THE GREGORY RIFT

by Mary J. BURGIS and K.M. MAVUTI

The eastern branch of the Great Rift Valley continues South through Kenya and Tanzania as the Gregory Rift. In contrast to the Western Rift, whose lakes drain either to the Nile or to the Zaire, the lakes of the Gregory Rift are almost all endorheic and many of them are highly saline. Apart from Lake Turkana, which is not considered here, the most intensively studied are the freshwater Lake Naivasha and the saline L. Nakuru: they are treated separately. Information available on the other major lakes is summarised in section 6.2.c.

Geology and Geography: The formation of the Rift Valleys and the history of the present lake basins is thought to have started towards the end of the Miocene, some twenty million years ago. The Rift Valleys cut through the crystalline Precambrian rocks of the central African tableland which, over much of the region, are overlain by shallow Cenozoic volcanics and other sedimentary deposits. The escarpments are still very obvious and the valley floor lies up to 500m below the general level of the plateaux on either side. In places the elevation of the escarpments is increased by the associated mountain ranges such as the Aberdares in Kenya and the Crater Highlands of Tanzania. There is much evidence of past volcanic activity: numerous extinct volcanoes are evident both in and along the edges of the Rift Valley while many of the lakes receive water from hot soda springs.

6.2.a. LAKE NAIVASHA

Lake Naivasha (Fig. 6.6) is unusual among the lakes of the Gregory Rift in that, despite the fact that it lies in a closed basin, its water is fresh. It has been intensively studied over the years by a number of limnologists and the information presented here comes primarily from Litterick et al (1979) which summarises information from an extensive literature but particularly from Melack (1976, 1979) and the papers of Gaudet (eg. 1977, 1978b), Gaudet and Melack (1981), Mavuti and Litterick (1981) and Mavuti (1983).

1. Geography and Morphology

Location: In the Central Rift Valley Province of Kenya c80km by road from Nairobi; 0°45'N, 36°20'E.

Altitude: 1889m asl; lake level variable \pm 0.5m annually.

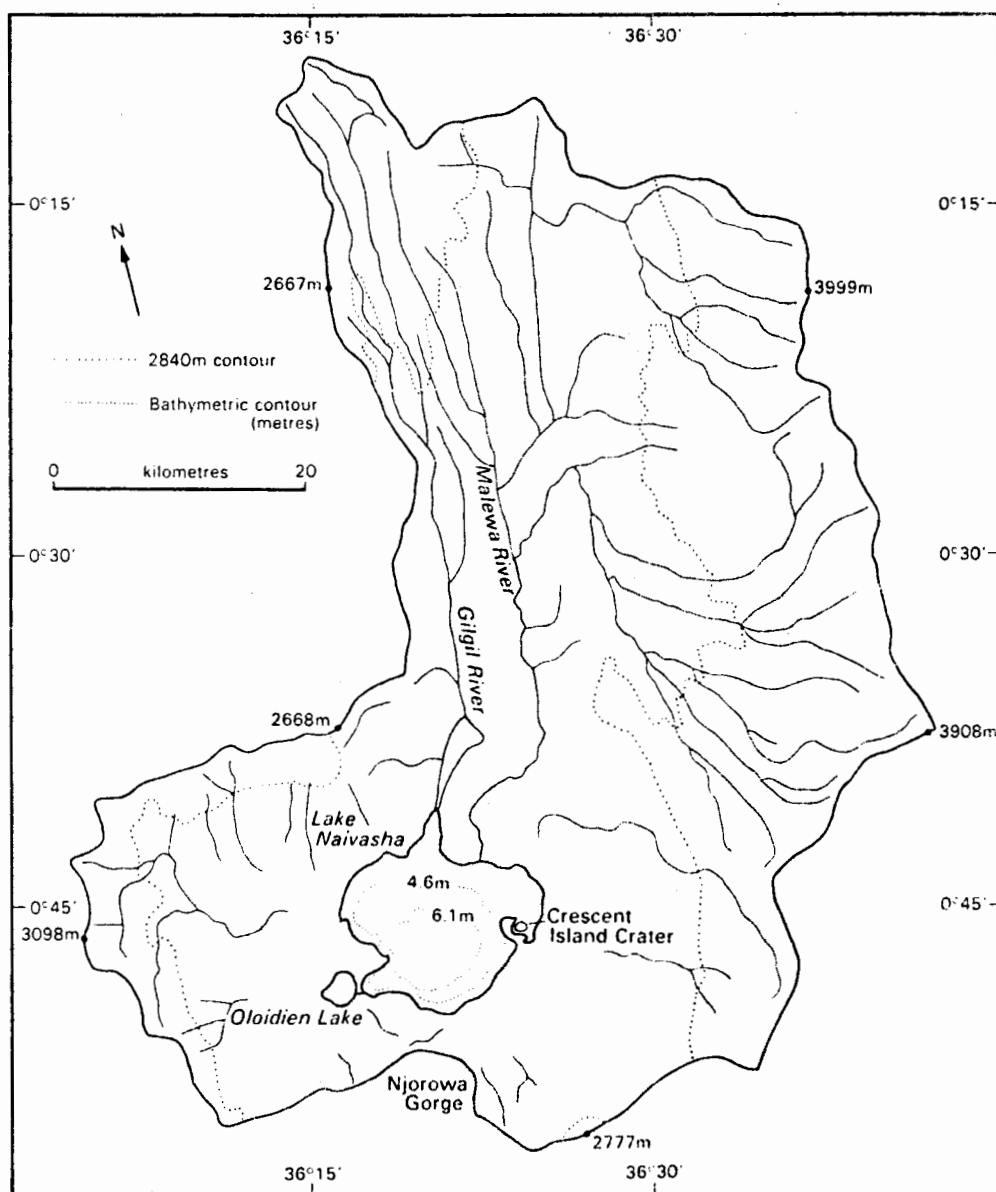


Fig. 6.6 Map of Lake Naivasha and its catchment area (redrawn after Gaudet and Melack 1981).

Landscapes: To the E. the Aberdare Range and the Kinangop Plateau; to the W. the Mau Escarpment; the Eburu Hills to the N. partially separate Naivasha from the Nakuru and Elmenteita basins. The Rift Valley floor in this region is still volcanically active and Mount Longonot, with several smaller volcanoes, forms a partial barrier to the S. which is breached by the Njorowa Gorge.

Morphometry: The Naivasha basin contains four morphometrically distinct water bodies: the main lake comprises >90% of the total, Crescent Island Crater (the rim of an extinct volcano) and Oloidien Lake are contiguous with the main lake but the distinctiveness of the latter depends on the level of the main lake. Lake Sonachi is a small, isolated crater lake close to the western shore of the main lake.

Area of the drainage basin 2378 km²

Area of the system (including Oloidien and Crescent Island craters) c150km² but very variable as shown in the table.

	Area km ²		Maximum depth m		Mean depth m	
	1973	1979	1973	1979	1973	1979
open water						
Naivasha (main lake)	115	150	7.3	10.0	4.6	6.5
Crescent Is. Crater	2.1	2.1	17	17	11.1	11.0
Oloidien	5.5	5.6	8.4	9.0	4.8	5.6

Depth: The depth is also very variable and undergoes seasonal fluctuations of c+0.5m and much longer term fluctuations of up to 8m (Fig.6.7). The lake is thought to have dried up completely at least once in the last 300 years.

2. Geology

The geological history of the L. Naivasha basin has been discussed by Richardson and Richardson (1972). Lakes Naivasha, Elmenteita and Nakuru were all once part of a much larger lake which, from about 12,800 BP to 5,700 BP filled the basin and overflowed via Njorowa Gorge. After this the lake levels fell abruptly and about 4,200 BP reached their present levels. Before this there was at least one totally dry period of about 100 years and the lake may now be at its highest level for the last 3000 years.

3. Climate

Type BsfB Köppen

Total solar radiation: Monthly means varied from 568.5 x 10⁴J/m²/d to 2608.3 x 10⁴J/m²/d with the maximum in January - February and minimum in July - August.

Wind: Light breezes in the morning (5.5km/h at 0900h); stronger in the afternoon; 11 -15km/h typical; not much seasonal variation; prevailing direction usually South.

Rainfall: The pattern of rainfall at Naivasha is shown in the climatic diagram (Fig. 6.8). There are two wet and two dry seasons

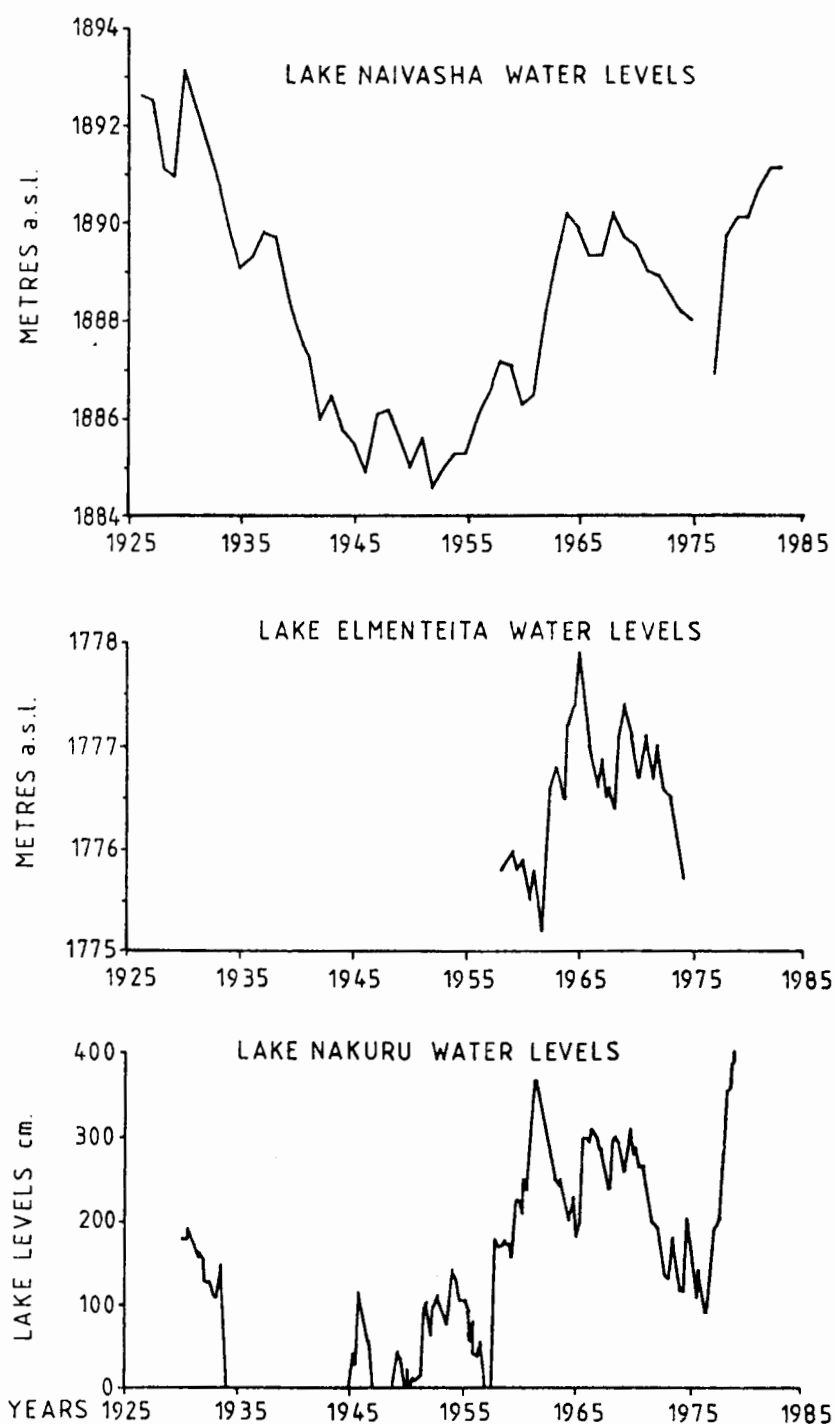


Fig. 6.7 Water level changes in Lake Naivasha (annual means redrawn from Litterick *et al* 1979 plus data from the Kenya Ministry of Water), Lake Elmenteita (redrawn from Melack 1979; no recent data available) and Lake Nakuru (redrawn from Vareschi 1982). The gap for 1976 in the Lake Naivasha record indicates uncertainty about the annual mean at a time of low water level.

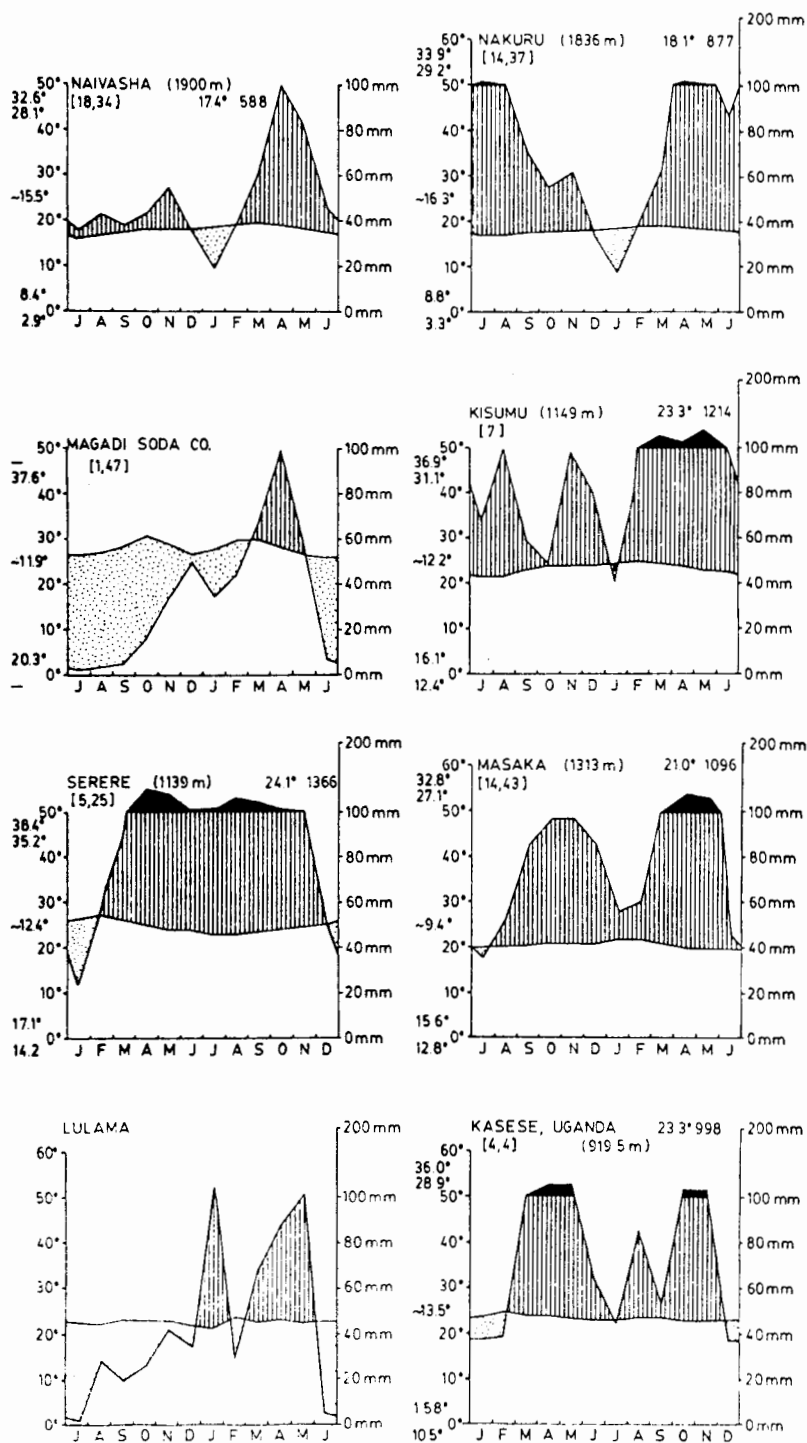


Fig. 6.8 Climatic diagrams for representative stations in Kenya, Uganda and Rwanda. Redrawn after Walter and Lieth (1960 - 67) with the exception of those for Magadi and Kasese which have been constructed from records of the East African Meteorological Department in the library of the U.K. Meteorological Office

per year with maximum rainfall usually in April and minimum in January. The mean annual total is higher in the catchment than on the lake eg. 693-836mm (1973-75) in the Malewa watershed.

Evaporation: monthly means of relative humidity at 1500h range from 22% in January to 107% in April.

Air temperature: Monthly means vary from 15.9 - 18.5°C (Fig. 6.8); July has the coolest means and the least range; January and February have the warmest means but the greatest range of temperatures. Daytime temperatures can reach 30°C.

4. Hydrography and Hydrology

The Malewa River with a catchment area of 1730 km² provides 90% of the inflow; the Gilgil (catchment area 420 km²) is frequently dry before reaching the lake its flow having been diverted for irrigation etc. Both these rivers enter the lake through the North Swamp. Flow in the Karati only reaches the lake during December to February.

Groundwater seepage along the NE and NW shores provided 13 - 16% of the inflow in 1973 - 75.

Water balance for Naivasha main lake from Gaudet and Melack (1981)

m ³ x 10 ⁶	1973	1974	1975
Surface run-off	0.6	0.7	0.4
River discharge	90.8	204.0	260.5
Rainfall	106.1	114.2	77.1
Seepage in	37.0	42.3	50.8
Total input	234.5	361.2	388.8
Evapotranspiration	14.3	13.2	13.3
Lake evaporation	309.5	276.0	278.2
Seepage out	17.6	36.6	78.3
Irrigation off-take	348.4	339.8	384.8
Change in storage (calculated by balance)	-113.9	+21.4	+4.0
Change in storage (calculated from level change)	-113.9	+21.4	+4.0

The lake has no surface outflow. A subterranean outflow has been suspected for a longtime (Beadle 1932) but to date it has never been confirmed.

5. Physico-chemical characteristics of the water

Temperature: Surface annual range 18 - 26.5°C
Bottom annual range 19 - 21.5°C

The highest temperatures recorded by Melack (1979) during his study

were, Oloidien 26.7°C, Naivasha 23.3°C and Crescent Island Crater 23.3°C; these were taken during the mornings and may have been exceeded later in the day. In 1978-79 temperatures of 24 - 25.5°C were recorded in some early afternoons c.1300h.

Transparency: secchi disc values Melack 1979 Mavuti 1978-80

Crescent Is Crater	3.7 - 5.7m	
Naivasha Main Lake	1.0 - 1.5m	0.5 - 2.5m
Oloidien	0.5 - 1.0m	

pH: Naivasha main lake mean 8.5 max. 9.1 min. 8.4
 Oloidien mean 9.2
 Crescent Is Crater mean 8.4

Conductivity: Naivasha 311 - 353.10⁻⁶S.cm⁻¹
 Crescent Is Crater 389 - 438
 Oloidien 768 - 892

Total dissolved solids/ salinity: range 229 - 750 mg/l from 1919 - 1974 (Melack 1979)

Alkalinity: 126 - 194 mg CaCO₃/litre

Major ions: as recorded for the main lake:

Author	Kilham and Hecky (1973)	Gaudet and Melack (1981)
Date of sample(s)	July 1969	n = 21 1973-75
	mg/l	mg/l
Na	24.2	40
K	12.3	20
Ca	16.2	21
Mg	5.3	6.4
HCO ₃		192
CO ₃		10.6
SO ₄	5.2	6.2
Cl	6.9	14
F	0.95	1.5
SiO ₂	24.6	34

Phosphorous: surface samples PO₄-P 10⁻⁶g/l: Naivasha <7 - 10
 Crescent Is 60 - 100
 Oloidien 13 - 70

Oxygen: 6-9mg/l in the mainlake. Lowest oxygen concentrations recorded by Melack (1979) between March 1973 and February 1974 (n=11) were near the bottom of the water column and ranged from 79 - 99% saturation between 10.00 - 13.00h. In Crescent Island Crater as low as 52% was recorded and in Oloidien the concentration reached 14% at 5m depth in December 1973; this is 1mg/l.

Mixing regime: the lake is holo-polymictic; however stratification occurs in all three water masses on most days during mid-morning but only persists for a few hours. Slightly more prolonged (a few days at most) stratification may occur in calm periods, particularly in the deeper water of Crescent Island Crater. Normally, however, the main lake is well mixed throughout and well oxygenated even in Crescent Island Crater, which is the deepest and most sheltered part of the lake.

6. Macrophytes

108 species of aquatic macrophytes have been recorded from Lake Naivasha and the structure and functioning of its swamp vegetation have been intensively studied by Gaudet (1979) and by F. Muthuri (pers. comm.).

The fringing swamp is dominated by Cyperus and Typha with papyrus (C. papyrus) forming almost pure stands in the North Swamp and as floating mats occupying up to 10% of the lake surface. Papyrus mats also sometimes enclose peripheral lagoons in which Nymphaea caerulea and submerged macrophytes such as Najas pectinata and Ceratophyllum demersum are abundant. Melack (1976) found that in 1973, despite their abundance in Naivasha, many of these species were absent from Oloidien and there was only a narrow band of Najas pectinata in the sub-littoral zone.

In 1982 - 83 (December - January) no submerged macrophytes were found in the main lake by Harper et al (1983) but dense weed beds were present in Oloidien Lake; the species are not given. In 1985-85 the lake level fell to 1888m asl and Potamogeton, Myriophyllum and Najas re-established dense growth in the littoral area.

Gaudet's work on the North Swamp indicates that when flow-through of the incoming rivers is high the swamp has little effect on their chemical composition but there may be greater effects when flow is low.

Recently (1984-86) the water lettuce Pistia stratiotes has been observed in the littoral zone.

The unintentional introduction of the floating fern Salvinia molesta in 1962 has led to subsequent infestations of this plant and repeated attempts to eradicate it have failed.

7. Phytoplankton

The table gives a list of the common phytoplankton of the main lake. In 1973-74 and through 1976-83 blue-green algae were relatively abundant and during both periods Lyngbya contorta, Spirulina laxissima and Aphanocapsa sp. were abundant. During the period 1978-85 Melosira ambigua and Microcystis aeruginosa were the dominant species in the lake. Diatoms appear to have been more abundant in the former period than the latter.

During 1973-74 Melack (1979) found the following algae to be most abundant in the main lake: he measured chlorophyll a concentrations and photosynthetic rates during the same period.

Cyanophyta	Diatoms	Chlorophyta
<u>Lyngbya contorta</u>	<u>Synedra acus</u>	<u>Pediastrum duplex</u>
<u>Anabaenopsis</u>	<u>Suriella linearis</u>	<u>Scenedesmus</u> sp.
<u>tanganyikae</u>	<u>Nitzschia</u> sp.	<u>Staurostrum</u> sp.
<u>Spirulina laxissima</u>	<u>Melosira ambigua</u>	
<u>Oscillatoria</u> spp.		

Microcystis sp.
Aphanocapsa delicatissima
Merismopedia sp
Chroococcus sp.

<u>Chlorophyll a</u>	20cm below the surface	mg/m ³	n
	Naivasha main lake	10 - 17	4
	Oloidien	42 - 53	2
	Crescent Is. Crater	2 - 5	2

Photosynthesis: photosynthetic rates were at their maximum just below the surface.

	n	Amax mgO ₂ /m ³ .h	total A mgO ₂ /m ² .h	daily A mgO ₂ /m ² .day
Naivasha main lake	11	150 - 240	340 - 570	3.7 - 6.2
Oloidien	10	260 - 750	390 - 1120	4.2 - 12.1
Crescent Is. Crater	5	50 - 180	280 - 780	3.0 - 8.4

Bacteria: In January 1980 Kilham (1981) found $3.7 \pm 0.4 \times 10^6$ bacteria/ml at 1m in Lake Naivasha water, which is a similar order of magnitude to concentrations found in freshwater lakes in other parts of the world. This is a lower concentration than he found in two saline lakes of the Rift Valley.

8. Invertebrates

During 1978-80 the limnetic zooplankton of the main lake was dominated by 4 species Thermocyclops (schurmannae) oblongatus, Diaphanosoma excisum, Brachionus caudatus and B. calyciflorus. Twenty-one other species were recorded of which Mesocyclops equatorialis (leuckarti) occurred throughout the year in low numbers and Simocephalus vetulus and Daphnia laevis occurred occasionally in large numbers. Pejler (1974) lists 11 species of Rotifera from L. Naivasha during 1967 -68 including B. caudatus and B. calyciflorus. More recently, Mavuti (1983) lists 3 species of Copeopoda, 11 species of Cladocera and 13 species of Rotifera. Daphnia pulex was introduced into the lake in May 1981 in the hope of providing additional food for tilapia juveniles in the littoral area.

Both numbers and biomass have two peaks during the rainy seasons. Annual mean biomass for 1978-79 was 220 mg(dw)m³ (Mavuti and Litterick 1981) and 435 mg (dw)/m³ for 1979-80 (Mavuti 1983). There is some evidence of seasonal succession among the Cladocera as recorded by Mavuti (1983).

Other invertebrates include the introduced North American crayfish Procambarus clarkii which has successfully adapted to its new environment and now forms the basis of a commercial enterprise but has also caused considerable damage to the fishing industry. The ecology of this crayfish has been studied by Oluoch (1983). Little is known about the benthos of L. Naivasha.

9. Fish

The only species of fish indigenous to L. Naivasha is

Aplocheilichthys antinorii which has not been recorded for a number of years. Sarotherodon (=Tilapia) nigra was introduced in 1925 and has since formed a hybrid with the accidentally introduced S. leucosticta, which has displaced it as the main component of the commercial fishery. S. nigra has not been recorded since 1971. T. zillii was introduced in 1956 and has survived but T. nilotica only survived from 1965 - 69. The American large-mouthed bass (Micropterus salmoides) was introduced in 1929 and again in 1951 as a sport fish and has thrived in the lake. At present this species forms 20% of the catch in the lake fishery whose mainstay is tilapia.

10. Other vertebrates

The introductions of fish have encouraged fish-eating birds. Of the 350 bird species recorded in the catchment area about 60 -80 are primarily aquatic at some time of the year (Lincer et al 1981). The dominant fish-eating birds are the white necked cormorant Phalacrocorax carbo, the great white pelican Pelecanus onocrotalus, the malachite kingfisher Corythornis cristata and the fish eagle Haliaeetus vocifer.

There are a number of hippopotamus (Hippopotamus amphibius) in the lake and some unconfirmed reports of crocodiles (Crocodylus niloticus).

11. Human activities and management

The town of Naivasha is only 1-2km from the lake and the lake itself is a popular tourist area with a number of hotels on the eastern shore. Much of the drainage basin is used as ranchland but close to the lake the growing of vegetables and flowers is very important. Lucerne is irrigated to give ten crops per year as the basis of an intensive dairy industry. In recent years (1980-85) irrigated agricultural activities have more than doubled.

Commercial fishing started in 1959 and was initially based on Sarotherodon nigra but by 1962 this species had been replaced by S. leucostictus and the hybrid mentioned above, which now forms more than 57% of the catch. Sport fishing is popular and boats are available from the tourist hotels.

The introduced crayfish has been exploited since 1975 and today it forms a lucrative foreign exchange earner from exports to Europe.

6.2.b LAKE NAKURU

This is the most intensively studied of the alkaline lakes in the Gregory Rift and, except where indicated, the information that follows has been taken from the papers of Vareschi (1978, 1979, 1982), Vareschi and Jacobs (1984), and Vareschi and Vareschi (1984). The lake water is too alkaline for most aquatic organisms and therefore contains only a few species but many of these occur in great numbers.

1. Geology

The present lake basin is thought to be about 3000 years old

(Richardson and Richardson 1972) and the remnant of a much larger lake of the Upper Pleistocene. The floor of the Rift Valley around Lake Nakuru is a Tertiary-Quaternary volcanic suite with associated alkaline sediments (McCall 1967).

2. Climate

Type BSfa (Köppen): see Fig. 6.8 for Nakuru.

Total solar radiation: in 1973 2148 \pm 380 J/cm²/d (Melack 1976): month of maximum January (550), month of minimum November (455) and April (458).

Wind: strength 0 - 6 m/s; monthly means (1934-55) 3.7 - 5.5 km/h at 0900h, 11 - 20.4 km/h at 1500h: strongest in late afternoon; seasonally strongest December - February; lowest June - July; prevailing direction from N except May - August, SE.

Rainfall: Mean annual total 876 \pm 143 sd mm/y (1947-77); month of maximum April (128.2mm) and August (114.9mm); month of minimum January (24.5mm); two wet and two dry seasons per year.

Evaporation: about 1800mm/y

Air temperature: annual mean 18.18 \pm 0.8 sd °C (1931-55); March has the highest monthly mean (19.5°C) and the highest maximum (33.8°C); February the highest mean maximum (29.4°C). July and August have the lowest monthly means (17.3°C) but January the lowest mean minimum (8.7°C) and the lowest absolute minimum (3.3°C).

3. Geography and Morphology (Fig. 6.9)

Location: In the Rift Valley Province of Kenya: 0°22'S; 36°05'E:

Altitude: 1759m asl: the level of the lake fluctuates.

Landscapes: The town of Nakuru lies immediately to the NW of the lake but is screened from the lake by dense Accacia woodland. Similar woodland alternates with grassland and alkaline mud-flats around most of the shoreline and extends away into the southern extension of the National Park. To the East and SW rocky hills come close to the lake.

Area: of the drainage basin c1800km² including the lake; the percentage occupied by open water is very variable c4x10⁷m². Some data on the lakes morphometry at different water levels is shown in the table (from Vareschi 1982 Table 1) and illustrated in Fig.6.9:

Date	Level m	Max. depth m	Mean depth m	surface area m ² .10 ⁷	volume m ³ 10 ⁷	shore line m.10 ⁴
16 12 79	4.05	4.50	3.58	4.9	17.5	3.25
16 01 69	3.03	3.48	2.84	4.5	12.8	3.14
07 01 67	2.3	2.75	2.24	4.3	9.6	2.88
07 01 61	0.11	0.56	0.36	3.6	1.2	2.79

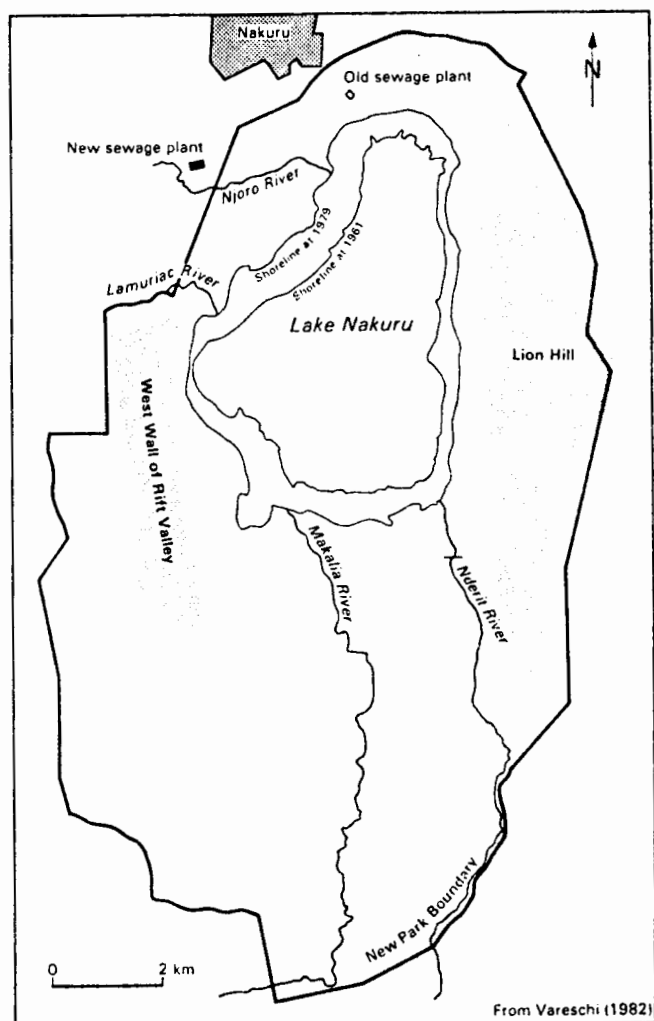


Fig. 6.9 Lake Nakuru, showing some recent examples of extreme water levels (redrawn from Vareschi 1982). The boundary of the National Park is shown as a thick solid line; the stippling indicates rocky hills close to the lakeshore.

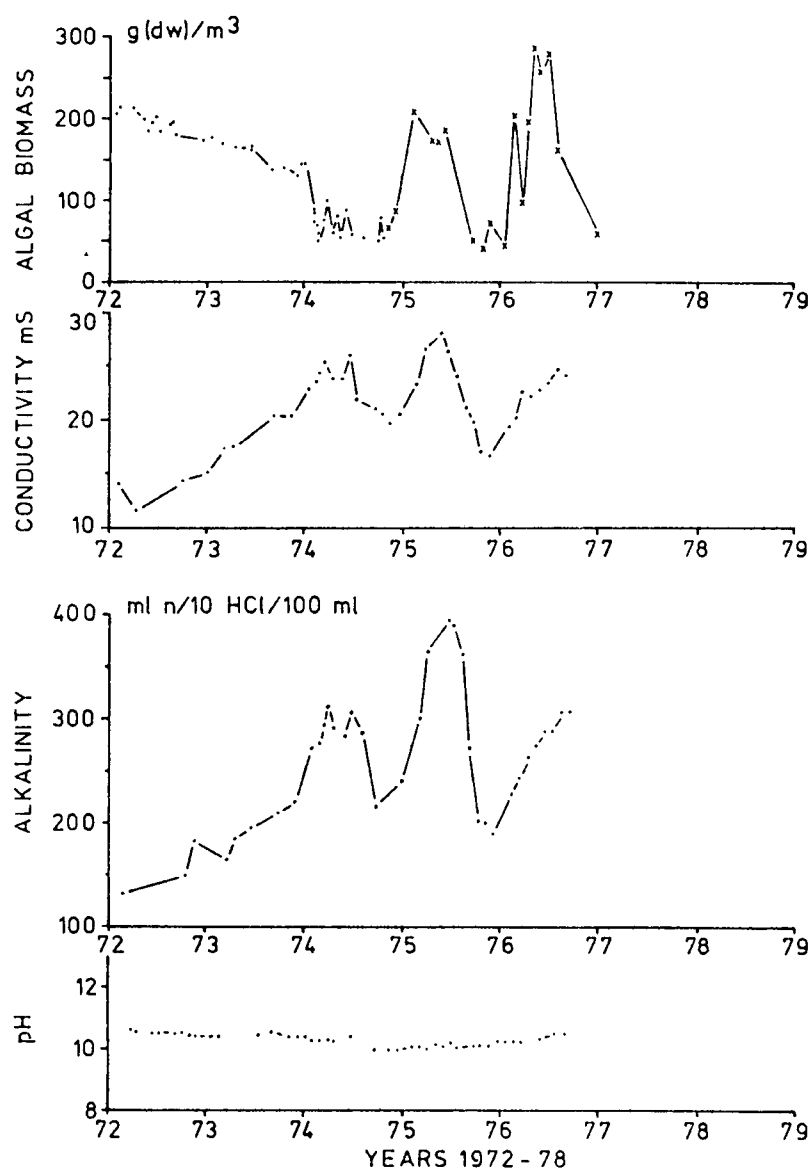


Fig. 6.10 Changes in pH, conductivity, alkalinity and algal biomass in Lake Nakuru from 1972 - 79. Each point is a record; there are no records from August 1976 to August 1978. (Redrawn from Vareschi 1982). The different symbols on the plot of algal biomass indicate the switch from dominance of Spirulina platensis to dominance by another species of Spirulina (see text): S. platensis had regained dominance by 1978.

4. Hydrography and Hydrology

Inflows: The Njoro and Nderit Rivers are always perennial; the Makalia is perennial in most years and there are two other intermittent inflows. During the rains there is shoreline seepage and there are alkaline springs on the N, NE and E shores.

Outflow: none

Water balance: rain, plus inflowing rivers and springs versus evaporation: monthly rainfall minus evaporation agrees fairly well with lake level changes with approximately three months time lag.

5. Physico-chemical characteristics of the water

Temperature: Surface maxima usually 25-27°C but occasionally 30-38°C; bottom temperature c20-21°C.

Transparency: Extinction coefficients (in ln m): max. 17.0, min. 12.1; mean 14.5 (1972-73); 5.7, 3.8, 4.6 (1974).

pH: c10.5, no variation.

Conductivity: extremely variable eg. 165,000 x 10⁻⁶S/cm (February 1961), 9,500 x 10⁻⁶S/cm (December 1976).

Alkalinity: also very variable: 5,000 - 90,000 mg/l.

For variation in pH, conductivity and alkalinity between 1969 & 1978 see Fig.6.10.

Major ions: (see Table 6.9) The chemical composition is homogeneous throughout the lake and the percentage composition did not change with change in conductivity: Na 96.4%, K 3.5% of cations; HCO₃ + CO₃ 84%, Cl 11.6% of the anions.

Phosphorous: soluble ortho-phosphate ranged from 149 + - 53s.e. to 202 + - 35x10⁻⁶g/l (n = 19 stations) during 1972-3. Total phosphorous 9850 + - 1100 x 10⁻⁶g/l (see Vareschi 1982 for discussion). During pelican breeding on Lake Elmentietta c10% of total P is exported from Lake Nakuru where they feed, but this is not a regular event.

Oxygen: During 1972-73 oxygen concentrations near the sediments were <1g/m³ for at least 6h each day.

Mixing regime: Daily circulation except in calm weather; usually weakly stratified during the night and mixed in early morning due to nocturnal cooling. On average well stratified for only about 3h in the afternoon; thermocline usually between 50-100cm.

6. Macrophytes

There are no aquatic macrophytes in the lake. Cyperus laevigatus occurs at the edge and Typha sp by the freshwater inflows. Kutilek (1974), in a survey of the surrounding vegetation prior to the 1973

extension of the National Park, recognised six major vegetation types: alkaline flats which are seasonally flooded, marsh which is flooded except in very long dry periods, grassland, rocky slopes, grass-shrub and Acacia woodland.

7. Phytoplankton

In general dominated by Cyanobacteria: in 1970-71 and 1972-3 Spirulina platensis formed up to 98.5% of the population. It was usually homogeneous throughout the water column. Annual mean biomass may range from 58 (1978-mean depth 253cm) to 194 (1972-mean depth 310cm) g(dw)/m³; the maximum recorded was 215 g(dw)/m³. The annual mean for Chlorophyll a ranged from 155 (1978) to 1160 (1972) mg/m³.

Occasionally diatoms and green algae form a substantial proportion of the biomass. Early in 1974 (mean depth 162cm) there was a marked change in species composition and decrease in the biomass of the phytoplankton (Fig. 6.10) coincident with other major changes in the community structure of the lake. At the end of 1976 the community began to revert to its former condition.

Gross primary production of around 16g(dw)/m².day was measured during the period of Spirulina dominance.

8. Invertebrates

The zooplankton is dominated by the calanoid copepod Lovenula (=Paradiaptomus) africana whose total mean biomass during 1972-73 was 1.5 g(dw)/m³. This species was absent from the lake from March 1974 to August 1976 (except January to July 1976) when the conductivity presumably exceeded its limit of tolerance (see Vareschi and Vareschi 1984 for discussion). The population then started to recover but during 1978 the number of adults was only one tenth of that in 1972.

Five species of Rotifera were recorded during this period but the species of Brachionus far outnumbered the others; B. dimidiatus occurred alongside Lovenula and B. plicatilis during the period of very high conductivity, when it was the dominant species in the zooplankton. Although the biomass of rotifers was very much lower than that of the copepods (during 1972-73) their production and consumption exceeded that of the copepods (see table below).

Four species of aquatic Heteroptera (one notonectid and three corixids) also occur in the lake but were absent during the period 1974-76.

The benthic fauna consists of two species of chironomid larvae of which Leptochironomus deribae is the dominant.

Vareschi and Vareschi (1984) and Vareschi and Jacobs (1984) provide a very detailed analysis and discussion of the numbers, biomass, growth and production of all these species and their roles in the Lake Nakuru ecosystem. Some indication of their relative importance can be seen in the table below.

Estimates of the biomass, production and consumption of the principal consumers in Lake Nakuru (means for 1972-73); from Vareschi and Jacobs (1984).

	Lesser flamingos	fish	copepods	chironomids	pelicans	rotifers
Biomass kJ/m ³	128	51	32	9	5	4
Production kJ/m ² /d	<0.01	0.4	1.5	0.7	0.03	1.7
Consumption kJ/m ³ /d	12.6	3.4	6.5	3.4	0.4	12.0

9. Fish:

There were no fish in Lake Nakuru until the Sarotherodon alcalicus grahami (= Tilapia grahami) endemic to Lake Magadi was introduced in 1953 and 1959, and again in 1962 after the lake had dried up and reformed (Trevawas 1983). This species is tolerant of very high temperatures and salinity. It has established very successfully in Lake Nakuru where it grows up to 20cm (larger than in L. Magadi) and in 1972 and 1973 had an estimated biomass of 90 - 400 t(dw) respectively. It is a herbivore when adult, feeding on Spirulina platensis in L. Nakuru, although the juveniles are probably carnivorous. It provides food for large numbers and variety of fish eating birds which were unable to feed at L. Nakuru before the introduction. See Vareschi (1979) and Vareschi and Jacobs (1984) for extensive analysis of the biomass, distribution, consumption and role in the ecosystem of this species.

10. Other vertebrates

Lake Nakuru is world famous for the spectacular concentrations of flamingos that gather to feed there, but they are only two of 433 bird species recorded in the vicinity of the lake, 119 of which depend on the lake itself or its inflows for their food.

The herbivorous lesser flamingo Phoeniconaias minor is more numerous than the greater flamingo Phoenicopterus ruber (the latter 1-5% of the former). The numbers of lesser flamingo vary widely but have reached 1.5 million. They are the most important consumer on the lake, filtering algae, primarily Spirulina platensis from the water. They also feed on other alkaline lakes in the Rift Valley and their only known, regular breeding ground in East Africa is Lake Natron. The last report of breeding at Nakuru was in 1915.

The greater flamingo feeds primarily on copepods and chironomid larvae sieved from the bottom mud and water immediately overlying it.

Forty species of fish-eating birds have taken advantage of the introduction of fish to Lake Nakuru. Of these the great white pelican Pelecanus onocrotalus roseus, whose numbers ranged from 10,000 -

35,000 in 1967-69 and from 1730 to >20,000 in 1972-74, contribute >90% of the biomass. They breed at Lake Elmenteita (see p.318). The white-necked cormorant (Phalacrocorax carbo) is second in biomass of the fish-eating birds and nests regularly at the mouth of the Njoro River.

There were about 15 hippopotamus (Hippopotamus amphibius) in the lake during 1972-74. They feed on the surrounding vegetation during the night and defaecate into the water during the day thus providing a nutrient input to the lake but this is unlikely to be significant compared with other sources, although the high fibre content of their faeces may locally influence the nature of the substrate.

The lake is the central feature of the Nakuru National Park but the surrounding terrestrial habitats contain a wide variety of large mammals. Recently the diversity of large mammals has been much reduced; Kutilek (1974) estimates that at least seven species of large herbivore (including Masai giraffe, Giraffa camelopardalis, eland Taurotragus oryx and zebra, Equus burchelli), and four species of carnivore (including lion, Panthera leo, cheetah Acinonyx jubatus, and spotted hyaena, Crocuta crocuta) have been largely or completely eliminated from the area since the turn of the century. During a study done before the extension of the National Park in 1973 Kutilek (1974) showed that those which remain reach their greatest concentration in the grassland-woodland area to the South of the lake. In 1970-1 20 species were recorded of which sixteen were sufficiently frequent to be included in a calculation of total biomass. The mean density was 64.2 ± 8.86 sd per km² and the biomass of the six major species (which made up 92% of the total numbers) was 6298 ± 801 kg/km². These six included hippo, H. amphibius, and buffalo, Syncerus caffer, but Defassa waterbuck, Kobus defassa, accounted for 76% of the biomass density; reedbuck, Redunca redunca, were also common.

11. Human activities and management

Human population: The township of Nakuru (c60,000 people) and its expanding industrial area, come within two kilometres of the lake. Towns occupy 5% of the catchment area, 35% is forest/bush and the rest is used for agriculture evenly divided between cultivation and rangeland.

Development: The town is the main development in the area. Its domestic and industrial effluents are processed by two sewage works, one near the North shore of the lake and the other on the Njoro River.

Exploitation: The lake and its National Park are a major attraction to tourists: vehicle tracks encircle the lake, there are two hotels overlooking the lake from the higher ground to the East and a campground near the Park HQ on the NW shore.

Disease and pest control: The fish were originally introduced to Lake Nakuru for mosquito control. Insecticides are extensively used for a variety of purposes within the catchment area but a survey by Lincer et al (1981) showed that although DDE residues tend to be higher in

organisms at the top of the food chains, on the whole the levels found then were low in comparison with some published analyses from other parts of Africa.

Legislation/designation: Part of the lake has been within a National Park since 1961 and the whole lake was included in 1964. In 1973 the Park area was increased to its present size (160km²) which is four times the area of the lake.

6.2.c. OTHER LAKES OF THE GREGORY RIFT, AND LAKE RUKWA

Except for Lakes Baringo, Naivasha and Kitangiri, all the lakes on the floor of the Gregory Rift are highly alkaline. Only Lakes Naivasha and Nakuru have been studied in great detail for an extended period, from a variety of aspects, so they have been treated separately (6.2.a and b). Where possible the data that is available for the other lakes has been tabulated in a comparative manner to illustrate their similarities and differences; only a brief account of the local geography and other features follow these tables. Lake Rukwa is included here because, although it lies in a separate rift, it has many characteristics in common with the other lakes of the Gregory Rift.

1. Climate

Most of these lakes are in areas of very arid climate such as that illustrated for Lake Magadi (Fig. 6.8). There do not seem to be any recording stations on the floor of the Rift although there are a number in the adjacent highlands which have a rather less severe climate.

Type: Afw4a Köppen

Rainfall: is very variable throughout the Rift Valley and from year to year. The mean annual total at 14 stations around Lake Rukwa from 1920-75 was c930mm per year (Rogers 1982).

2. Geography and Morphology

Table 6.6 Location and physical characteristics of some lakes in the Gregory Rift.

Lake (Author)	Latitude	Longitude	Altitude m asl	Area km ²	Max. depth m
Baringo	0° 37'N	36° 05'E	985	130	c7.5
Bogoria (Tuite '81)	0° 16'N	36° 09'E	975	33	8.5
Nakuru (Vareschi)	0° 22'S	36° 05'E	1759	36-49	0.56-4.5
Elmenteita (Melack & Kilham '74)	0° 27'S	36° 05'E	1776	18	1.9
Magadi (Tuite '81)	1° 54'S	36° 16'E	579	95	0.6
Natron (Tuite '81)	2° 39'S	36° 00'E	610	900	0.5
Manyara (Melack & Kilham '74)	3° 35'S	35° 50'E	960	413	3.7
Eyasi	3° 35'S	35° 00'E	1030	1000	usually dry
Kitangiri (Ssentongo '72)	4° 40'S	34° 15'E	800	105	<3
Rukwa - S lake	8° 00'S	32° 30'E	820	756	2.5- 6.0
N lake (Richardson '68; Banister & Clarke '80)				2300	

3. Physico-chemical characteristics of the water

Except where indicated otherwise the following tables are compiled from Hecky and Kilham (1973), Kilham (1971), LeBarbara and Kilham (1974), Melack (1976), Melack and Kilham (1974) and Talling and Talling (1965) as denoted by their initials.

Table 6.7 Transparency of the water in some lakes of the Gregory Rift and Lake Rukwa.

	Secchi disc m	Wavelength nm			date	author
		650	545	495		
		vertical extinction coefficients in ln units per m				
Baringo	<0.07				1976-77	Kallqvist 80
Elmenteita	0.17	7	9	30	030271	M & K
	0.12-cl.0				070774	M
Bogoria	0.28				3/73	M
	0.43				8/73	M
Manyara		16	100	80	080869	M & K
Rukwa	0.06					Richardson 68

Table 6.8 Conductivity and pH of the water in some lakes of the Gregory Rift

	10 ⁻⁶ S.cm ⁻¹	pH	Dates	Author
Baringo	416	8.2-9.0		T & T
Bogoria	72,000		3/73 & 8/73	M
	35,700-80,000	9.8-10.3		Tuite 81
Nakuru	10,010	9.8	14/07/69	H & K
Elmenteita	43,800		24/02/61	T & T
	11,700	9.4	23/07/69	M & K
	15,000		03/02/71	K
	15,000-40,200		2/72-8/74	M
Magadi	27,900			
	160,000		2/61	T & T
Manyara	8,610	9.2		M & K
	94,000			T & T
Eyasi	23,500		08/08/69	LeB & K
		9.5		Hecky & Kilham 73
Kitangiri	785			Welcomme 71
Rukwa-S lake		8.5-9.2		Banister and Clarke 80
-N lake	5,120		1961	T & T

Table 6.9 The concentration of some major ions in some shallow lakes of the Gregory Rift (mg/l except where indicated, gaps indicate no data given)

Lake Author	Na	K	Ca	Mg	Si	SO ₄	Cl	Alk
Baringo	126	15	22	2	15.8	40	36	336
Beadle								(HCO ₃)
Livingstone 63								
Bogoria	14360	304	26	+		204	3450	35,300
Beadle 32								(HCO ₃)
Nakuru	3300	237		0.9	208	62	1020	121
H & K								meq/l
Elmenteita	3795	274		0	0	177	38	1982
107								
M & K								meq/l
Magadi	38000	537	<10	<30	250	2400	22600	1180
T & T								meq/l
Natron		3800	+	+	850	3100	65000	2600
Guest & Stevens in T & T								meq/l
Manyara	2507	0	1.4	0.9	8.6	230	1168	78
M & K							meq/l	
Eyasi	6900	9.3	3.0	1.9	18	830	6620	116
H & K								
Stoffers 75	66000	121	5	7		6612	58350	10129
Kitangiri	155	4.8	24.1	6.7	34.5	34	64	6.6
T & T								meq/l
Rukwa-N lake	1140	85	<1	<1	115	165	383	53.5
T & T								

Table 6.10 Some data for phosphorus concentrations in some lakes of the Gregory Rift and Lake Rukwa

	PO ⁴ -P	total P	author
Baringo	0.96 mg/l		Beadle 1932
Elmenteita	3.0 mg/l		M & K
Magadi		11,000 mg/l	T & T
Natron		290,000 mg/l	Guest & Stevens in T & T
Manyara	6.5 mg/l		M & K
Kitangiri			T & T
Eyasi	86 mg/l		Hecky & Kilham 73
Rukwa-N lake		4,500 mg/l	T & T

Bacteria: In January 1980 Kilham (1981) found very high concentrations of bacteria in the waters of Lakes Elmenteita and Bogoria. In the latter, at 1m depth they numbered 3.5×10^7 bacteria per ml and in Elmenteita from 0 -1.5 m they ranged from $3.5 - 3.6 \times 10^8$ bacteria per ml.

Lake Baringo

1. Geography and Morphology

Lake Baringo lies on the valley floor in the Rift Valley Province of Kenya, about 25km north of Lake Bogoria. The surrounding country is dry thorn bush and much of the SW and SE shores are rocky and unvegetated. There is a large swamp at the southern end of the lake, dominated by Cyperus papyrus accompanied by Pistia stratiotes and water lilies. There is one large island, Ol Kokwa, and a number of islets in the lake.

2. Hydrography and Hydrology

The Molo River and Ol Arabel enter the lake from the S and the Tangelbei River from the E. On Ol Kokwa there are a number of hot mineral springs which drain into the lake (Copley 1948).

3. Flora and Fauna

Cyanobacteria dominate the phytoplankton, particularly Microcystis aeruginosa and Anabaena circinalis (Kallqvist 1980). Kallqvist also gives a photosynthetic rate of $0.3-1.0g\ O_2/m^2/day$.

Pejler (1974) recorded seven species of Rotifera from a visit in 1968; these included Brachionus calyciflorus and Keratella tropica. Lowndes (1936) records five species of Cladocera and three of Copepoda from samples taken by the Cambridge Expedition in 1931.

According to Lincer et al (1981) the dominant species of fish are Labeo cylindricus, Clarias mossambicus, Barbus gregori and Sarotherodon niloticus.

About 300 species of birds have been recorded in the lake basin, including 35 breeding pairs of fish eagles (Haliaeetus vocifer). The most common fish eating birds are darters (Anhinga rufa) and herons, including the goliath heron (Ardea goliath) and the night heron (Nycticorax nycticorax).

4. Human activities and management

About 10% of the catchment area is cultivated, 60% is rangeland and 30% forest/bush: there are no towns. "Excessive erosion in the catchment over the last half-century has resulted in serious siltation, affecting the penetration of light, the quality of the lake bottom, and consequently the aquatic plant life." (Lincer et al 1981). These authors found relatively low organochlorine residues in the material (vegetation, zooplankton, fish, fish-eating birds, Amphibia and a hippo) that they sampled from Lake Baringo.

The fishery on Lake Baringo is of increasing importance and is being developed. In 1965 the total annual catch was about 600 t (Welcome 1971) and Welcome gives an estimated maximum sustainable yield of 1500t/y. In the 1970s yields were much lower but have recently increased (see table):

Annual fish catch by species from Lake Baringo, 1976-81 (metric tonnes) (Mavuti pers. comm.)

Year	<u>Sarotherodon</u>	<u>Barbus</u>	<u>Clarias</u>	Local consumption	Total
1976	221	22	15	7	265
1977	223	9	13	37	282
1978	295	8	12	-	315
1979	296	18	12	11	337
1981	203	133	-	40	376
1982					401

There is a fish (tilapia) filleting factory on the southern part of the lake. Lake Baringo is now on one of the regular tourist circuits: there is an hotel on the western shore catering for more than 50 tourists daily.

Lake Bogoria (formerly L. Hannington)

1. Geography and Morphology

An area of $9.5 \times 10^8 \text{ m}^2$ drains into this closed basin. The area of the lake and the depth of its water vary greatly. The length of the shoreline is approximately $3.7 \times 10^4 \text{ m}$. A slow flowing stream

enters the lake at the N. end. The water has a temperature of about 24°C and there are hot springs, geysers and fumaroles along the lakeshore.

2. Phytoplankton

Melack (1976) visited the lake in March and August 1973. On the first occasion the phytoplankton was an almost unialgal bloom of Spirulina platensis but in August nanoplankton species dominated and no S. platensis was found. Chlorophyll a concentration had decreased but the conductivity (see table below) and photosynthetic rates were similar: the ranges given for the latter in the table below are for incubations at different depths.

Date	Chlorophyll <u>a</u> mg/m ³	mg O ₂ /m ³ /h	mg O ₂ /m ² /h
3/73	c.800	640 - 1550	280 - 840
8/73	150	650 - 1650	430 - 780

There are no fish in L. Bogoria.

3. Birds

In 1953 Brown estimated 2 million flamingos feeding in the lake but these numbers fluctuate as the birds move between the numerous alkaline lakes of the Rift Valley (Tuite 1979).

Lake Elmenteita

1. Geography and Morphology

Lake Elmenteita is in the Rift Valley Province of Kenya between L. Nakuru, to the North and L. Naivasha, to the South. All three were once part of a much larger lake. Like Nakuru, Elmenteita is now highly alkaline but is much more isolated from development and tourist pressure than Lake Nakuru.

The area of its drainage basin has been estimated as 390 km² by Vareschi (1978) and as 590 km² by Lincer et al (1981). It has a shoreline of about 28km and is surrounded by rangeland, mostly used for cattle grazing.

Its only inflows are the Mereroni River and the Kekopey hot spring; it has no outflow.

2. Temperature

At 0800h and 20cm depth ranged from 16.6 - 21.1 on 13 dates in 1973-4 (Melack 1976); the mean for 24h was 19.2°C.

3. Macrophytes

The adjacent grasslands are dominated by the alkali tolerant Sporobolus spicatus (Lincer et al 1981).

4. Phytoplankton

Melack (1976) identified and counted 3 Cyanophyte and 36 diatom taxa. As in L. Nakuru the community was dominated by Spirulina platensis for more than three years until a sudden decline when benthic algae became important. At least through 1975 the phytoplankton remained sparse but by 1976 S. platensis was dominant once again (Melack 1979). Melack suggests, therefore, that there is more than one stable state, if stable is taken to mean persists for more than ten generations.

The photosynthetic rate declined from c4.7 gO₂/m³/h in February 1973 (1.2 gO₂/m²/h) to c.0.4 gO₂/m³/h in May 1974 (0.2 gO₂/m²/h). In the same period the concentration of chlorophyll a declined from c 310 to c15 mg/m³.

5. Invertebrates

Lovenula (=Paradiaptomus) africanus is the only copepod in L. Elmenteita and was abundant in February and March 1973. It then disappeared and had not reappeared by August 1974 (Melack 1976). The anostracan Branchinella spinosa, never previously recorded, appeared in the lake in January 1974 and was present until the end of Melack's study (August 1974). The hemipterans Micronecta spp. were similarly common in February - March 1973 but were rarely seen after May 1973. Chironomid larvae were present throughout. These changes coincided with shrinkage of the lake volume (see Fig. 6.7) and increase in the conductivity of the water, and with similar changes (Fig. 6.10) in L. Nakuru (Vareschi 1982).

6. Vertebrates

There are no fish in the lake. Lesser flamingos feed here in numbers which have been estimated to range from 500 (April 1957) to 100,000 (1954). They almost disappeared when the phytoplankton declined in 1973. They returned as the benthic algae increased and the population contained a higher proportion of greater flamingos than previously (Melack 1976). The lake provides undisturbed nesting sites for birds, including at least some of the great white pelicans which feed at L. Nakuru, on rocky islets created by recent lava flows on the west side of the lake.

Lake Magadi

Lake Magadi only contains water after heavy rain and its alkaline sediments are commercially exploited for soda ash. It is the second largest expanse of solid trona (sodium carbonates and derivatives) in the world (Brown 1971). It has almost no input of freshwater and is fed primarily by "boiling hot soda springs" which "gush in at the South end" (Copely 1948). It has no outlet.

Pejler (1974) found no living organisms in his samples on a visit to L. Magadi in 1967. The endemic cichlid Tilapia grahami (Coe 1966) is confined to hot springs at the lake margins where they tolerate temperatures up to 40°C, salinities around 30‰ and pH of 10.5. They grow up to 10cm, mature at 25mm (females) and 35mm (males).

Flamingos feed on L. Magadi in fluctuating numbers. In an unusual attempt at nesting on Lake Magadi during 1962 many flamingo chicks died as soda anklets formed around their legs when the water evaporated.

Lake Natron

Lake Natron is larger than L. Magadi but has less crystalline trona. It has one large river, the Southern Uaso Nyiro flowing into it but no outflow. Here too Pejler (1974) found nothing in his samples of 1967 but this lake, like Magadi, has an endemic species of fish Tilapia alcalica (Coe 1969) which is found in the peripheral springs. It is also one of the only two known sites where lesser flamingo breed regularly (the other is Etosha pan in Namibia). They need suitable ground conditions for the construction of their mud nests, undisturbed breeding areas and a food concentration (of algae) $>250 \text{ mg(dw)/l}$ (Bartholomew and Pennicuick 1973). Vareschi (1978) suggests that 100mg may be the lowest critical value.

Lake Manyara

Lake Manyara lies close to the western escarpment of the Rift which here rises to 1219 -1829m asl, 200-900m above the lake. About 48km to the NW the Crater Highlands rise up to 3658m, and many perennial streams flow from here, and the plateau, into the lake. Fans of alluvium from the Rift wall spread out across the bed of the lake at their mouths. The water of L. Manyara is much less concentrated than that of Magadi and Natron but in dry periods the lake contracts and large expanses of alkaline mud-flats fringe its shores.

1. Macrophytes

Greenway and Vesey-Fitzgerald (1969) surveyed the vegetation of the L. Manyara National Park which lies along the NW shore of the lake. The vegetation in the valley as a whole is ground-water Acacia woodland with gallery forest along the drainage lines and particularly associated with the western escarpment of the rift. Grassland is characteristic of the low-lying alkaline flats and is zoned around the lake shore. These grasslands are very important for the game animals of the park. Sporobolus spicatus is characteristic of the lake bed flats, Odyssea jaegeri where they are shallowly flooded and Cyperus laevigatus where the ground is boggy, particularly around alkaline springs. Where the Simba River enters the N end of the lake the swamp herbage is zoned in relation to the depth and duration of flooding, and the extent of the intrusion of alkaline lake water. Typha angustifolia is dominant in the swamp at the N end of the lake but elsewhere around the perimeter of the lake Cyperacea predominate. Wherever land drainage flows into the lake the alkaline vegetation is interrupted and woodland, Cynodon sward or swamp vegetation extend towards the lake.

2. Fish

Tilapia amphielas lives in springs bordering the lake: this is its type locality but it also occurs in other lakes in this part of the Rift Valley (Trevawas 1983).

3. Other vertebrates

Aerial and ground censuses of seven species of large mammal carried out in October 1975 (Mwalyosi 1977) included hippopotamuses whose numbers showed a large increase over previous counts. This may have been associated with increased habitat due to flooding of the lake or to immigration from outside the park area. The lake level rose between 1968 - 70 reducing the grassland areas and grazing for some species such as zebra, but as the lake level fell areas of inundated woodland turned to grassland and species such as the buffalo are thought to have benefitted and increased up to 1975.

4. Human activities and management

In the catchment area of L. Manyara the human population is densest around the town of Arusha where Greenway and Fitzgerald quote a figure of 150/km² in their 1969 paper; it is likely to have increased greatly since then. There is a settlement close to the N shore of the lake just outside the park boundary.

In Masailand the population is much more sparse although Mwalyosi remarks (1977) on the increasing cultivation at the northern and southern ends of the park and the Douglas-Hamiltons (1975) describe increasing settlement and cultivation on the plateau above the escarpment. Part of the western lake shore is within the Lake Manyara National Park which also includes the northern two-thirds of the lake itself.

Lake Eyasi

Since L. Eyasi is dry practically the whole time (Brown 1971) it is perhaps hardly surprising that there is almost no limnological information beyond the chemical analysis given in Table 6.9. The river connection from Lake Kitangiri only feeds Lake Eyasi in exceptionally wet years. Oreochromis amphimelas is probably native to the springs around Lake Eyasi (Trevawas 1983).

Lake Kitangiri

Lake Kitangiri has both inflows, the Wembere and Manoga Rivers, and an outflow, the Sibiti, which sometimes drains as far as Lake Eyasi. Its water is therefore much less saline than most of the Rift Valley lakes and supports a fishery whose total catch was estimated as 600 t/y by UFFRO (1975) and 4113 t/y by Welcomme (1971). There were 500 fishermen on the lake at that period. Oreochromis amphimelas occurs here and a hybrid has formed between it and O. esculentus which was accidentally introduced to the lake with Tilapia rendalli from Lake Victoria (Trevawas 1983).

Lake Rukwa

1. Geography and morphology

Lake Rukwa lies on the floor of a flat, elongated trough which is isolated from both the Gregory and Western Rifts but is a northern

extension of the Malawi rift. The S. end of the Rukwa basin is separated from that of L. Malawi by the Rungwe volcano complex.

The lake itself is in two sections; the north basin is the shallowest and sometimes dries out completely. The south basin is nowhere more than 6.5m deep and even when the water is high there is less than 1m depth over the bar between the two basins. The lake level has a cyclical periodicity of about 30 years and reached all time highs in 1973-76. In 1980 the lake was approximately 150km long and 15km wide (Banister and Clarke 1980). It receives drainage from an area of 85,000km² which includes an active volcanic region, the Rungwe Mountains, that is probably a rich source of the sodium and carbonate which dominate the lake's chemistry (Richardson 1968). The valley floor slopes down to the E. so the lake is directly against the eastern escarpment which in places is a sheer rock wall up to 60m high. Alluvial plains 8 - 38km wide lie between the lake and the western escarpment (Riccardo 1936).

2. Hydrography and Hydrology

The main inflows are the Sira and Songwe in the S., the Momba in the W. and the Kavu in the N. These are probably the only perennial inflows (Riccardo 1936). There is no outflow.

When Riccardo visited the lake its total length was about 144km. The S. basin was 48 x 24km with a maximum depth of 3.5m at the end of the dry season c. 3.5km from the E. shore. The N. basin was about 96 x 38km and shallower still. The bottom was covered with fine grey mud. Richardson (1968) found the water of the S. basin very turbid, probably due to stirring of the bottom by strong and frequent winds.

3. Macrophytes

The floodplain grasslands adjacent to the lake are dominated by Sporobolus spicatus and Diplachne fusca. The vegetation in the inundation zone is of great importance to the well-being of the large mammals and because it is a major breeding area of the red locust Nomadacris septemfasciata the structure of the plant communities have been studied in great detail (Blacklund 1956).

4. Phytoplankton

It is evident from the list given by Van Meel (1954) that diatoms dominate the phytoplankton of Lake Rukwa: 87.3% of the 87 species recorded. Richardson (1968) examined the present diatom flora from the top of a sediment core taken c 8000m from the shore of the S. basin in water depth of 2.5m in 1960. He found predominantly planktonic species of which the most abundant genera were Coscinodiscus (39.7%) and Nitzschia (37.2%). He estimated photosynthesis (A_{max}) at c 6.2 mgO₂/l/day.

5. Invertebrates

Riccardo (1936) reported a calanoid, a cyclopoid, Hyalodaphnia sp. (Cladocera) and rotifers in the lake and only chironomid larvae in the bottom mud.

6. Fish

Riccardo (1936) recorded 24 species of fish of which the most abundant were Alestes imberi, a zooplankton feeder and prey of carnivorous species, (none of which were seen in the N. basin) such as Hydrocyon lineatus, Schilbe mystus, and Clarias mossambicus; also Tilapia rukwaensis which was "enormously abundant". This last species is endemic to L. Rukwa and at that time was the only species fished commercially on the lake, by locals with scoop nets. A "European fishery" was started in 1931 but failed and was restarted in 1936 using seine nets. The fish were sun-dried in the dry season and smoked in the wet season. Fishing at that time was confined to a few parts of the inshore areas of the lake and Riccardo recommended the extension of the fishery to include other species.

During a survey of the fish in October 1975 Okaronen (1975) found that the catch was still dominated by T.rukwaensis in the R. Songwe, at Ntunje and in the shallow inshore areas of the lake. In the relatively deep off-shore waters Schilbe mystus was dominant. He also caught T.variabilis, Clarias mossambicus, Alestes imberi, Lates fulleborni, Barbus spp., Gnathonemus macrolepidotus, Haplochromis bloeyi, Mormyrus longirostris and Synodontis sp.; Hydrocyon was reported by the local people.

7. Other vertebrates

Riccardo (1936) recorded both hippopotamus (Hippopotamus amphibius) and crocodiles (Crocodylus niloticus) in the lake.

Populations of large mammals (in total c24 species) associated with the alkaline short grasslands include common zebra (Equus burchelli), topi (Damaliscus korrigum) and puku (Kobus vardonii) which are affected by fluctuations in the lake level; they decline during high lake level periods and increase during low lake levels. These fluctuations are discussed by Rogers (1982).

There are also large populations of birds associated with the lake. Great white pelicans (Onocrotalus pelicanus roseus) nest with variable success (which seems to be related to the level of the lake) on grasslands to the north of the lake (Stroh 1959).

8. Human activities and management

Human settlement is increasing (Rogers 1982). The fishery uses dug-out and relatively unstable canoes in shallow water (Okaronen 1975) and small mesh (51-64mm) nets. In 1975 a Tanzanian company, Chakula Barafu, was planning a commercial exploitation of the lake. During the 1960s a game cropping scheme was started and continued for two months every dry season until 1970 when it was discontinued due to flooding. The Rukwa valley was gazetted as a game controlled area in 1932 but this allowed settlement. The Uwanda Game Reserve (700km²) from which the local population was removed in 1969, covers the west and central grasslands while the N. Rukwa Game Controlled Area lies to the N. and adjoins the Katavi National Park which was gazetted in 1974. The grasslands adjacent to Lake Rukwa are one of the world's largest breeding areas of the red locust Nomadacris septemfasciata.

6.3. THE CENTRAL PLATEAU

by

Mary J. BURGIS, Kenneth M. MAVUTI, Jacques MOREAU and Isabelle MOREAU

The block of land between the two rifts is relatively high but in the centre is the great, shallow depression that is the basin of Lake Victoria, the second largest area of freshwater in the world. Covering 66,250 km² this is the largest lake in Africa and, although it has a maximum depth of 93m the mean depth is only about 40m. From the ratio of its area to volume it could be regarded as a shallow lake but the fact that it has an annual cycle of stratification (Talling 1965), and thus behaves as a deep lake, has caused us to exclude it from consideration here. However, of the various shallow bays around its shoreline, the Nyanza Gulf (also known as the Kavirondo or Winam Gulf) is the only one sufficiently isolated from the main lake and likely to behave independantly. It has been studied in some detail and is therefore included here along with the complex of swampy lakes along the Victoria Nile, of which Lake Kyoga is the largest, the numerous smaller lakes in the NW part of the Lake Victoria catchment, and those of the Kagera River basin which lie mostly in Rwanda. Between 1961 and 1964 the level of Lake Victoria rose by more than 2m after 50 years of comparative stability. This totally unforeseen change and the ensuing problems for the surrounding countries stimulated a major hydrometeorological study of the catchments of Lakes Victoria, Kyoga and Mobutu Sese Seko by the World Meteorological Organisation (1974, 1982) referred to hereafter as the HYDROMET SURVEY. The reports of this survey contain a wealth of hydrological and meteorological data on the catchments of these three lakes which between them cover a large portion of Uganda, western Kenya and northern Tanzania plus most of Rwanda and Burundi and a small slice of eastern Zaire.

Geology: The whole of the Upper Nile Basin is underlain by the "Basement complex" of mostly Archean and Precambrian, igneous and metamorphic rocks which are some of the oldest in the world (formed more than 3,000 million years ago).

6.3.a. NYANZA GULF

1. Climate

The climatic diagram for Kisumu (Fig. 6.8) indicates a bimodal pattern of rainfall with two relatively dry seasons in January-February and July-October. There is very little variation in the mean monthly temperature.

Type: Afa Köppen

Winds: primarily from the SW in all months of the year: monthly mean wind speeds (1939-62) range from 5.5-7.4km/h at 0900h and 14.8-24.0km/h at 1500h, with maxima in January-March and minima in April-June.

Insolation: Monthly mean insolation at Kisumu during the HYDROMET survey was 529 cal/cm²/day in 1969 and 468.8 in 1970. The range

of daily insolation in Kisumu during 1973 was 703-250cal/cm². Hours of bright sunshine (1939-62): 2842 per year (range 2333-3118): monthly averages per day range from 6.9h in July and August to 8.78 in February. In January the highest radiation values (>290 watts/m²) are found in western Kenya, primarily due to reduced cloudiness, in July values >242 watts/m² are only found in western Kenya (Okoola 1982).

Air temperature: monthly means range from 21.9-24.3°C; the maximum temperatures are recorded in February and March; the lowest in December and January.

Rainfall: Rainfall in the catchment is plentiful, between 1250 and 1550mm/y. There are two maxima in March-May and October-November.

Evaporation: Nyenzi (1980) estimated potential (Ep) and actual (Ea) evapotranspiration from climatic data. For Kisumu he obtained values of Ea = 1150mm, Ep = 2173mm: over the Gulf itself he estimated 1250 and c2000mm per year respectively.

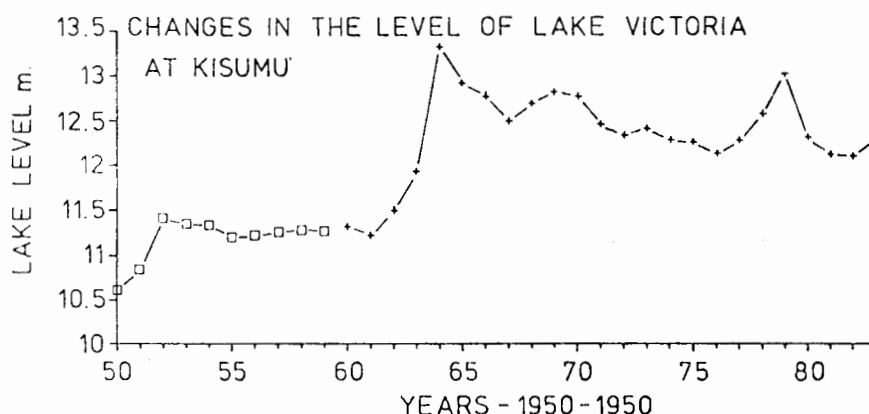


Fig 6.11 Changes in the level of Lake Victoria at Kisumu since 1950. The different symbols indicate the use of levels at the beginning of each year from 1950 - 59 (taken from Kite 1981) and of annual mean levels thereafter (calculated from monthly means supplied by the Kenya Ministry of Water).

2. Geography and Morphology

The Nyanza Gulf lies in the heavily populated Nyanza Province of Kenya: 0°15'S, 34°40'E. It is thought to have originated as a separate basin which became connected to the main lake in the mid-Pleistocene. The narrow channel (0.6km wide) between Mbita Point and Rusinga Island has now been closed off by a causeway. This has disrupted the once fast currents through this channel with detrimental impact on the fishery. The Gulf is, however, connected to the main lake by the 5km wide Rusinga Channel through which there is limited exchange of water with the main lake.

Altitude: 1136m asl

Area: 1400km² (Melack 1979). The Gulf is approximately 30km wide and 70km long from Rusinga Island to the Kisumu Gulf.

Depth: Mean depth <4m; maximum 35m in the channel off the lighthouse near Uyoma Point: most of the area of the Gulf is 2-6m deep (Rinne and Wanjala 1982). This depth must vary with that of the main lake which has undergone a number of cyclical fluctuations since the turn of the century (Fig. 6.11).

Landscapes: the north shore of the Gulf is generally rocky while the S. shore is flat and swampy. The south shore is bounded by volcanic hills which rise to 1750-2000m asl and descend to the lowland plain of tertiary lacustrine deposits near the lake.

3. Hydrography and Hydrology

The main inflows to the Gulf include the Nyando and the Sondu Rivers, which drain the western slopes of the Mau range, and the Kibos, all of which are gauged. The Nyando catchment was selected for special study by the HYDROMET survey because of its importance to two major development projects, the possible irrigation of the Kano Plain and the reclamation of the Miruka swamp for irrigated agriculture. This catchment contributes 0.4 milliard m³ to L. Victoria and empties via the Miruka Swamp into Nyakach Bay at the eastern end of Nyanza Gulf.

Discharge of the main rivers into Nyanza Gulf during 1969 and 1970: (from HYDROMET survey)

River	Catchment area km ²	Month of max. millions m ³	Month of min. millions m ³	Annual total milliards m ³
Kibos	1969 490	May 13.9	Jan. 2.7	0.068
	1970	May 13.39	Feb. 2.66	0.068
Nyando	1969 2650	Feb. 36.3	Dec. 8.0	0.247
	1970	Aug. 103.1	Dec. 15.4	0.594
Sondu	1969 3230	Feb. 122.0	Dec. 21.0	0.845
	1970	Apr. 310.0	Jan. 43.0	1.961

Many smaller rivers drain into the Gulf from the Nandi and Kisii Highlands.

Streams flowing into Nyanza Gulf (HYDROMET Survey 1974)

	Catchment area km ²	Maximum alt. m	Approximate runoff 000 m ³ /y	(assuming runoff= 18% of rainfall)
North shore				
Kisyan	50.0	1615	13,806	
Muguruk	93.75	1768	25,095	
Luanda	84.4	1463	19,750	
Awach Seme	140.6	1494	38,190	
Nyandiwa	62.5	1372	14,074	
Obera	37.5	1359	7,877	
Awach-Kibos	109.4	1798	34,855	
South shore				
Awach-Kaboun	575.0	2,033	146,245	
Awach-Tende	609.4	1,920	153,569	
Olando	84.4	1,341	19,750	

Of these streams the Awach-Kaboun and Awach-Tende are clearly the largest. The former was an intensively studied "index catchment" for the HYDROMET survey. The catchment area is productive agricultural land entirely rural, more densely populated in the East than to the West (average population density c250 people/km² (Atlas of Kenya)) but with the maximum density of cattle in Kenya (c250 heads/km²). The mean monthly discharges observed between April 1969 and December 1971 ranged from 0.93 cumecs in February to 16.23 cumecs in May and an average for the whole period of 5.45 m³/sec.

4. Physico-chemical characteristics of the water

pH: 6.8 - 9.2 (June 1984)

Conductivity: 170 - 179x10⁻⁶S/cm (Melack 1976); 110 - 160x10⁻⁶S/cm (June 1984)

Temperature: 23.8 - 26.0°C between August and December 1973 (Melack 1979); the highest temperature recorded was 29°C; June 1984 (surface) min. 24.8, max. 29.0°C.

Transparency: Secchi disc depths 75 - 150cm August to December 1973 (Melack 1979); June 1984 35 - 155cm.

Surface incident irradiance: 246 kerg/cm²/s at 1600h on 5.11.60 (Talling 1965). Light penetration in the Gulf is reduced compared with the off-shore waters of L. Victoria and the 1% level is at about 2.5m.

Major ions:

meq/l	date	11.8.73	12.10.73	22.12.73
Na		0.84	0.84	0.88
K		0.42	0.42	0.42
Ca		0.41	0.41	0.57
Mg		0.17	0.26	0.26
HCO ₃		1.62	1.57	1.86
SO ₄		0.16	0.18	0.18
Cl		0.2	0.2	0.19
F		0.05	0.04	0.04
SiO ₂ mg/l		4.0	7.0	2.0

June 1984 Alkalinity 40 - 72 mg/l as CaCO₃
 Turbidity 3.3 - 28.5 NTU

Nutrients: July-August 1984: Total N 444-523x10⁻⁶g/l; Total P 23-27x10⁻⁶g/l.

Oxygen: Normally well oxygenated throughout the water column; the lowest concentrations recorded 6mg/l (68% saturated) and maximal concentration 6.5 - 7.7mg/l (94 - 108% saturated) (Melack 1979). June 1984: 4.6 - 9.45 mg/l (all depths included) and 5.8-8.1 mg/l in February 1985. At a deep water site off the lighthouse (near Uyoma Point) taken at 11.30h dissolved oxygen varied from 5.7 at surface to 4.6mg/l at 30m and 8.9 at the surface to 6.0mg/l at 25m in February 1985.

Mixing: occurs every night with temporary stratification set up during calm days for a few hours, before being broken down by SE winds in the afternoon. This is confirmed by the well oxygenated water throughout the depth of the water column.

5. Macrophytes

Papyrus islands detach themselves from the swampy regions of the shore. Pistia stratiotes is present but not plentiful; also Ceratophyllum demersum and Potamogeton pectinatus.

6. Phytoplankton

The phytoplankton is dominated by small cyanobacteria including Lyngbya limnetica, L. circumcreta, Aphanocapsa spp., Anabaenopsis tanganyikae, and Merismopedia spp. (Talling 1965). Talling measured a maximum photosynthetic rate of about 500 mg/m³/h (presumably O₂) and estimated integral photosynthesis to be about 1g O₂/m²/h; this was on 5 November 1960. In the top 5m of the water column the rate of photosynthesis was fairly even, with an average of about 24 mg/m³, and a maximum at 3m. The limit of measurable photosynthesis was about 6m.

Melack (1979) recorded a concentration of chlorophyll a of 17mg/m³ on 22 December 1973 and between August and December of that year obtained values of maximal photosynthesis of 230 - 640 mg O₂/m³/h (400-910 mgO₂/m²/h) and 4.3-9.8 g O₂/m²/d. Values were highest in October during this five month period. In July-August 1984 Chlorophyll a concentration ranged from 127-136mg/m³.

7. Invertebrates

Rzoska (1957) recorded 16 species in the zooplankton of Lake Victoria as a whole. Of these 10 occurred in the samples he took at a station off Kisumu. Juvenile copepods occupied 79-89% by numbers. In the Kisumu Bay area during June 1984 samples contained c72% Copepoda (mainly Thermocyclops sp especially nauplii, plus a few Tropodiaptomus), c25% Rotifera (including 4 species of Brachionus, especially B. caudatus and B. calyciflorus, Polyarthra sp., and Keratella tropica), and 3% Cladocera (Moina sp., Diaphanosoma sp., Macrothricidae and Bosmina sp.). The medusa Limnocoidea and juvenile notonectids and corixids were also present. Caridina nilotica occurs plentifully in offshore waters. Off-shore benthic samples, also taken in June 1984, were dominated by Bellamya sp., Mellamya sp. and Pila ovata (Gastropoda), Aspatharia/Mutela (Bivalvia), Povilla adusta (Ephemeroptera) and Brachythenius sp. (Odonata). In addition high densities of Oligocheata, particularly Alma sp., and chironomid larvae occur abundantly in the open water benthos.

8. Fish and Fisheries

The fish fauna is primarily nilotic but includes many endemic species, particularly among the smaller cichlids (Greenwood 1980).

Between 1951 and 1962 several non-native fish were introduced to the main lake, Oreochromis niloticus (= Tilapia nilotica = Sarotherodon niloticus), T.leucosticta, T.zillii, and Lates albertianus; all these eventually arrived in the Nyanza Gulf. Benda (1979) reported that the consensus of opinion seemed to be that up to 1969 fish stocks were lower in the Gulf than outside and that T.esculenta, Oreochromis niloticus, T.variabilis, Labeo victorianus, Barbus altianalis, Mormyrus kannume and Schilbe mystus had nearly disappeared from the Gulf. The only species to increase was Lates niloticus whose population had been building up ever since its introduction in the 1960s.

The fishery involved beach seines and hooks, the use of which has declined, plus gill nets and mosquito nets. The increasing use of the latter has been detrimental since they catch smaller fish. The impression that the inner Gulf was overfished was supported by Benda's (1979) analysis of fish catches from nine landings (inside and outside the Gulf) in the Kenya waters of L. Victoria which indicated a steady decline in total catch from 1968-76. This does not quite agree with the official statistics which show an almost continuous increase in total catch from 1971 through to 1982. The only significant drop was in 1979-80 (30.6 - 26.9 x10³ metric tonnes); otherwise yield has risen from 14918 t in 1971 to 60958 t in 1982. Data for the Kenya waters of L. Victoria in 1982 show % by weight of Lates 54%, Engraulicypris 17%, Oreochromis niloticus 4%, Mormyrus 4%, Bagrus 4% and Haplochromis 4%. Recent trawling in the Gulf caught only Lates and Oreochromis niloticus of which the former constituted more than 90% of the catch in a survey of 14 stations during 1979-81 (Okemwa 1984). Lates is increasingly becoming a food acceptable to the locals and Okemwa estimates a potential yield of 11,000 t/y for this species. The landings of Lates from the Kenya waters of L. Victoria reported by the Kenya Department of Fisheries for 1981-82 are 22834 and 33134 t respectively; most of this is caught within the Gulf.

For an extensive discussion of trawling in Lake Victoria see papers by Bergstrand and Cordone and Kudhongania and Cordone, and in the Gulf see Muller et al (1982).

9. Human activities and management

Kisumu is one of the largest towns in Kenya with expanding industrial activity. It is also a major port for the steamer services on Lake Victoria between Kenya and Tanzania.

6.3.b. LAKE KYOGA AND ASSOCIATED LAKES

Lake Kyoga is a very extensive, dendritic swamp lake in the heart of Uganda (Fig.6.12). The Victoria Nile flows through the western end and many tributaries join the river via the lake. Upstream on one of these tributaries is Lake Bisina (formerly L.Salisbury) and further downstream on the Kyoga Nile is Lake Kwania. These are the largest areas of open water in the drainage basin but there are innumerable smaller areas of open water sometimes dignified with separate lake names. The structure

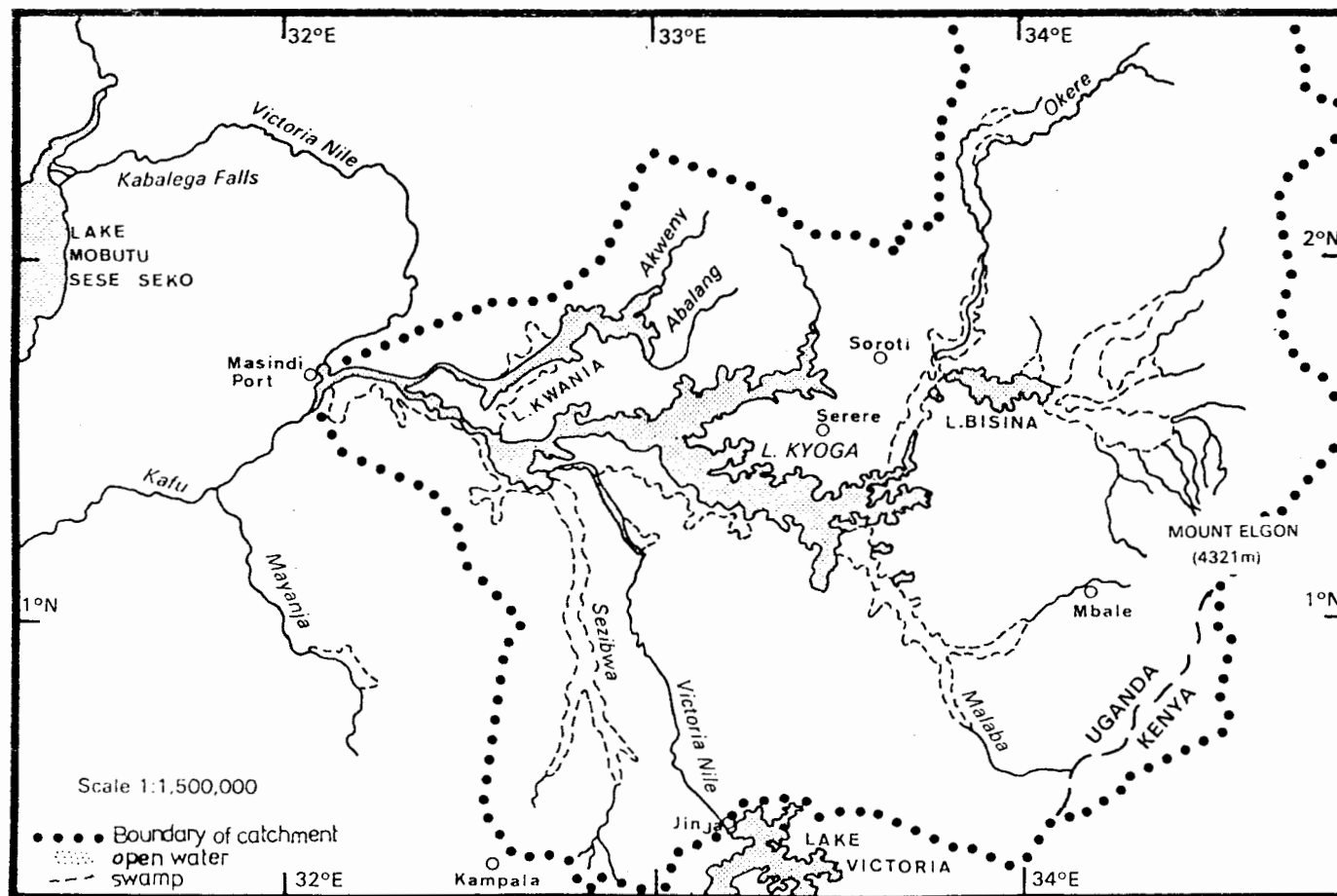


Fig. 6.12 Map of the Lake Kyoga catchment.

and hydrology of the whole complex was studied in some detail by the HYDROMET Survey (World Meteorological Organization 1974, 1982) and the fisheries are currently the subject of investigations by the Uganda Freshwater Fisheries Research Organization.

1. Geography and Morphology

Location: 01°20'S - 01°56'N; 32°20' - 33°40'E

Altitude: L. Kyoga 1034m at maximum water level
L. Kwanja 1033m

Area: (HYDROMET Survey 1974) The total area of the L. Kyoga land catchment is 74,713 km² including the lake itself. Of this 11,315.6 km² does not actually contribute to the inflow to L. Kyoga because of topography, low rainfall etc. This includes areas such as that of the Victoria Nile catchment, the area between Sezibwa and the Kafu River, the areas between the Abalang and Lakes Kojweri and Kwanja, and the area draining the swamps of L. Bisina. The Lake Bisina catchment area is 24,027 km² and the entire outflow from the lake passes under the Kapiri road bridge as inflow to L. Kyoga.

4735 km² of the L. Kyoga catchment consists of swamps and lakes made up as follows:

	km ² area		km ² area
L. Kwanja	508.1	Sezibwa swamps	467.5
L. Kyoga	1821.6	Naigombwa, Umpologoma	
L. Nakwa	93.1	and Manafwa swamps	528.8
other small		Lwere swamp	29.4
lakes	200.0	small lakes & swamps	404.4
		swamps of L. Kwanja and	
total	2622.9	L. Kyoga	386.3
		swamps between Olya	
		and L. Kwanja	136.9
		swamps of the L. Victoria	
		catchment	141.3
		total	2094.6

After very detailed measurement of areas on the 1:50,000 maps of Uganda, plus levelling of the surrounding land and sounding in the lake, the HYDROMET Survey made a final calculation of the area below the 3400ft (=1036.32m) contour, which is the first to completely surround the lake. They arrived at the following areas for Lake Kyoga:

water:	open water	2636 km ²)	
	swamp	1260 km ²)	3896 km ²
land below 3400ft:	swamp	350 km ²)	
	seasonal swamp	437 km ²)	1564 km ²
	other land	477 km ²)	
	Total		5460 km ²

It is not clear how the categories and areas listed in this table correspond to those in the preceding table but the water area of 3896 km² is said to have a standard error of $\pm 2.5\text{km}^2$ if only the calculation is considered but taking other difficulties and sources of error into account the overall estimate is given as 3896 $\pm 40\text{km}^2$.

Morphometry: On the hydrological map in the Atlas of Uganda (1962) the open water area of L. Kyoga is shown to be in the region of 105km along the northern arm to its junction with the Victoria Nile, and about 90km along the southern arm from its confluence with the northern arm. The width of these arms is extremely variable and ranges from <1 - >16km.

Lake Bisina appears more regular in outline and is about 32km long by 6km wide.

Lake Kwanja is about 69km long and varies from about 5 - 8km in width.

Depth: L. Kyoga - the lowest bottom point sounded during the HYDROMET Survey has an altitude of 1023.4m ie 10.73m below maximum and 6.9m below minimum water level; this was near Kikondo. These deepest parts are only a small area along the N. coastline of L. Kyoga and the main lake has a mean depth of about 3m.

L. Kwanja: the deepest part is W. of Abeja with a height of 1027m, which is 5.3m below a water level of 1033m. The mean depth of the main lake is about 4m.

2. Climate

The climatic diagram for Serere (Fig. 6.8) is illustrative of the region as a whole with the exception of the much drier portions of the catchment to the NE.

Type: Afa Köppen; of the twenty-two hydrometeorological stations within the Lake Kyoga basin listed by the HYDROMET Survey (1974) 6 are described as C2 moist sub-humid, 11 C1 dry sub-humid and 5 D semi-arid using the indices of Thornthwaite (1948)

Insolation: at Soroti (1939-62) hours of bright sunshine

Mean annual total 2810 h; Range 2908 - 2704 h

Highest monthly mean 8.48h per day in October

Lowest monthly mean 6.19h per day in July

Evaporation: calculated by the Kohler, Penman, and from water balance (WB) methods, for 1969 and 1970, and by the latter two methods for the Normal Year (ie mean for 1946 - 70) by the HYDROMET Survey (1982):

	1969	1970	Normal year
total mm per year	1420 - 1867	1377 - 1751	1516 - 1623
lowest month WB	July 72mm	November 22mm	July 91mm
Penman	July 140mm	September 133	July 113mm
highest month WB	December 164mm	January 186mm	April 161mm
Penman	Oct & Dec 167mm	December 161mm	January 161mm

3. Hydrography and Hydrology

The reports of the HYDROMET Survey (1974, 1982) give a detailed analysis of the hydrology of the Lake Kyoga basin. The main inflow to the lake is the Victoria Nile from the South which flows through the western portion of the lake and leaves as the Kyoga Nile from where it proceeds NW towards the Kabalega (=Murchison) Falls and Lake Mobutu Sese Seko (=L. Albert). The measured outflow from L. Kyoga includes the contribution from the River Kafu which joins the Nile just upstream of Masindi Port. This is the biggest tributary of the Victoria Nile with a catchment area of 15,492 km², 14.6% of which is covered by swamps, to the west of the Nile.

Many rivers drain the southern and eastern flanks of Mount Elgon and the mountains further north on the Uganda - Kenya border and flow into L. Kyoga. Among the largest are the Umpologoma with a catchment area of 3613.8 km² and mean annual discharge of 608.78 x 10⁶m³ which feeds the S. arm of L. Kyoga and the Omunyal (catchment area 695.6km², mean annual discharge 39.44 x10⁶m³) which feeds the N. arm. The mean annual discharge from L. Bisina to L. Kyoga is 372.97 x10⁶m³. All the contributions from this enormous area are, however, small beside that of the Nile. It should be noted that rainfall over the lake is less than the rainfall over the land catchment (c87% in a normal year) and that rainfall over the lake is less than evaporation from it (c 87% in a normal year). Water balance of L. Kyoga in a "normal year"

	mm	10 ⁹ m ³ per year
Precipitation over the lake	1220	5.55
Inflow from land catchment	639	2.91
Inflow from L. Victoria	5622	25.58
Outflow	5897	26.83
Evaporation	1516	6.9

The dominant influence on the hydrology of the whole basin is the inflow from Lake Victoria which in a normal year is 11 times the inflow from the the land catchment and in a wet year may be as much as 20 times greater. Nevertheless the outflow in the Kyoga Nile is greater than the inflow to L. Kyoga. Much of the difference is accounted for by the contributions of the Sezibwa (total mean annual flow 216.98 x 10⁶m³) and the Kafu (mean annual flow 682.9 x10⁶m³) both of which join the Nile on the opposite side to Lake Kyoga.

4. Physico-chemical characteristics of the water

Temperature: c28°C

pH: 7.6 - 9.0

Conductivity: Lake Kyoga 212x10⁻⁶S/cm at 20°C (Kilham & Hecky 1973)
245 - 300x10⁻⁶S/cm (various authors in
Talling and Talling 1965)

similar values were obtained by the HYDROMET Suvey
Lake Bisina 365 (Talling and Talling 1965)

Major ions and nutrients:

Source	Livingstone 1963	Talling and Talling 1965 1960	Van Meel 1954 2.6.53			Kilham and Hecky 1973 10.10.69	HYDROMET 1974
sample date							
depth			0m	1.5m	2.5m		
mg/l							
Na	1.78					27.5	26.3
Cl	1.2	1.5	1.5	1.5	2.7	7.1	8.7
K	7.8					6.5	6.6
Ca	2.0					13.7	14.1
Mg		1.95	1.95	1.65	2.0	7.2	7.5
Fe							0.14
SO ₄	3.85	10.0				4.7	2.9
NO ₃	0.87						
NO ₃ -N		0.008					
NH ₃	0.41						
PO ₄			trace			0.025	
PO ₄ -P		0.033					
SiO ₂		6				30.0	

Alkalinity: Lake Kyoga 1.42 - 3.21 meq/l
 Lake Bisina 2.35 meq/l (Talling and Talling 1965)

Oxygen: Van Meel(1954) gives oxygen at three depths about 1.5km off Bugondo in June 1953; they ranged from 50% at the surface to 38% at 2.5m.

5. Macrophytes

The open water of these lakes is surrounded by a fringe of papyrus (Cyperus papyrus) of variable width and floating islands of papyrus frequently appear in the open water (Worthington 1929). Shallow inshore areas landward of the papyrus are overgrown with floating macrophytes.

6. Phytoplankton

Van Meel (1954) lists the planktonic algae found in samples from Lake Kyoga; these include representatives of at least thirteen genera, among them several blue-greens of which Lyngbya was dominant. The diatom assemblage was dominated by Melosira and is typical of shallow warm-water, eutrophic lakes (Gasse et al 1983).

7. Invertebrates

Green (1967) recorded 24 species of Rotifera from seven stations in L. Kyoga. They had a mean density of 1524/m³ and 7732/m² of which the most abundant species were Lecane bulla, Keratella tropica and Brachionus caudatus.

From the same samples Green (1971) recorded a total of 13 species of Cladocera. At seven stations which ranged in depth from 3.5m -6m the

numbers under 1m^2 ranged from 962 - 8567 with a mean of 3743, and their density ranged from 241 - 1713 with a mean of 750 per m^3 . The most numerous species were Moina micrura and Diaphanosoma excisum; Ceriodaphnia cornuta and Chydorus barroisi were also abundant. Since the Cladocera only comprise 4% of the total zooplankton numbers, and Rotifera are only about twice as abundant, the zooplankton community is presumably dominated by copepods. If so they must be cyclopoids because Verheye and Dumont (1984) found no calanoid species recorded for L. Kyoga.

8. Fish

The fauna of L. Kyoga is essentially similar to that of the inshore waters of L. Victoria. Until the building of the Owen Falls Dam (commissioned in 1954) at the outlet from L. Victoria there was no effective barrier to interchange between the two lakes. The Kabalega (Murchison) Falls are, however, a barrier between Lake Kyoga and Lake Mobutu Sese Seko (L. Albert). Tilapia variabilis, which is endemic to Lakes Victoria and Kyoga, occurs with T. esculenta in Lake Kyoga (Lowe-McConnell 1956). T. zillii, T. nilotica and T. leucosticta were stocked into both Lakes Kyoga and Bisina during 1954 (Uganda Protectorate, Annual Report of the Game and Fisheries Department 1954-55).

The Nile perch (Lates niloticus) a large piscivore was also introduced in 1954 and 1955 and first appeared in catches in 1958 (Arunga 1981). By 1970 it comprised 60% of the total catch from Lake Kyoga and the catch of other species has declined since then.

9. Other Vertebrates

Crocodiles (Crocodylus niloticus) were once abundant in L. Kyoga despite the lack of sand banks and other firm shores for hauling out. They were extensively hunted between 1950 and 1965 but their decline in numbers is also due to an extermination campaign as the human population around the lake increased (Watson and Parker 1969). current data are not available to the author. Worthington (1929) also reported the presence of abundant fish-eating birds, including pelicans, the otter Lutra maculicollis, sitatunga and hippopotamus. The current status of these species in this area is unknown to the author.

10. Human activities and management

This complex of lakes is among the most important fish producing waters in Uganda and is the subject of investigation by the Uganda Freshwater Fisheries Research Organisation (Twongo and Ogutu-Ohwayo 1979) but no current information is available to the author. Until 1950 L. Bisina was fished only by the local people using long lines and baskets. At the end of 1950 a gill-net fishery was started for Tilapia esculenta and T. variabilis (Annual Report of the Uganda Game and Fisheries Department 1952). No Barbus or Bagrus were caught and they were, therefore, thought not to have been able to cross the swamp from L. Kyoga.

A fishery survey of L. Opeta reported in the same year listed T. variabilis, T. esculenta, Mormyrus macrocephalus, Schilbe mystus, Labeo victorianus, Protopterus, Clarias and Haplochromis spp. among the species caught.

In 1953 a crocodile skin industry was flourishing on animals trapped and shot on Lakes Kyoga and Bisina. This was thought to benefit the fishing industry but by now the crocodile stock was much reduced (Annual Report of the Game and Fisheries Department 1953). This industry was still considered profitable in the Annual Reports of 1957-58.

6.3.c NORTH-WESTERN CATCHMENT OF LAKE VICTORIA

Between the NW shores of L. Victoria and the Western Rift lies undulating plateau country with many shallow swampy valleys and occasional lakes.

Lake Wamala

Lake Wamala lies in the NE corner of the Katonga River basin but, with its outflow, the Kibimba, forms a separate drainage sub-basin of 2654 km² area. Sixty percent of this area is covered in swamp and in the Uganda Atlas no open water is indicated; thus the area of open water varies. It is fed by several swampy streams and although the River Kibimba leaves the lake the HYDROMET Survey (1982) reports that no flow has ever been recorded at the outlet and its contribution to the Katonga must be minimal. Sometimes the Kibimba is completely dry. The only inflow gauged is the Mpamujugu whose average annual inflow to L. Wamala ($97 \times 10^6 \text{ m}^3$) plus 1200mm of rainfall must be lost through evapotranspiration.

Nevertheless the fishery is of importance to the local people and its decline in both catch per unit effort and size of fish caught, led the Uganda Freshwater Fisheries Research Organisation to carry out a fisheries resources survey there in May and July 1975 (Okaronen 1975). The lake was about 240km² in area and had 25 major fish landings at that time. There were 250 canoes licensed for fishing and a maximum permitted mesh size of 127mm still theoretically in force. No outboard motors were permitted on the lake. The survey caught Tilapia nilotica (which was introduced in 1953 and 1956), T. leucosticta, T. zillii, Clarias, and Protopterus. The first of these formed the bulk of the catch and were lighter in relation to their length than would be expected.

Lakes Kijanebalola, Kachira, Nakivali, Mburo

There seems to be very little information on this group of lakes which lie west and south-west of Mbarara in the shallow valleys of various tributaries of the Kagera River (Fig. 6.13). They were visited by the Cambridge Expedition in 1931 and are mentioned briefly in early reports of the Uganda Game Department. Some have more recently been the subject of fishery resource surveys (Okaronen 1975b).

All these lakes are areas of open water in an extensive papyrus swamp.

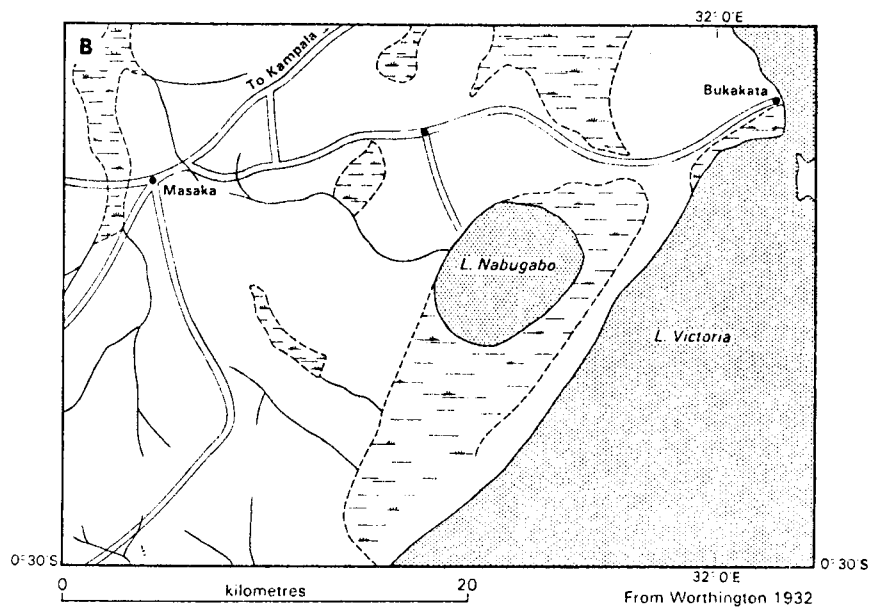
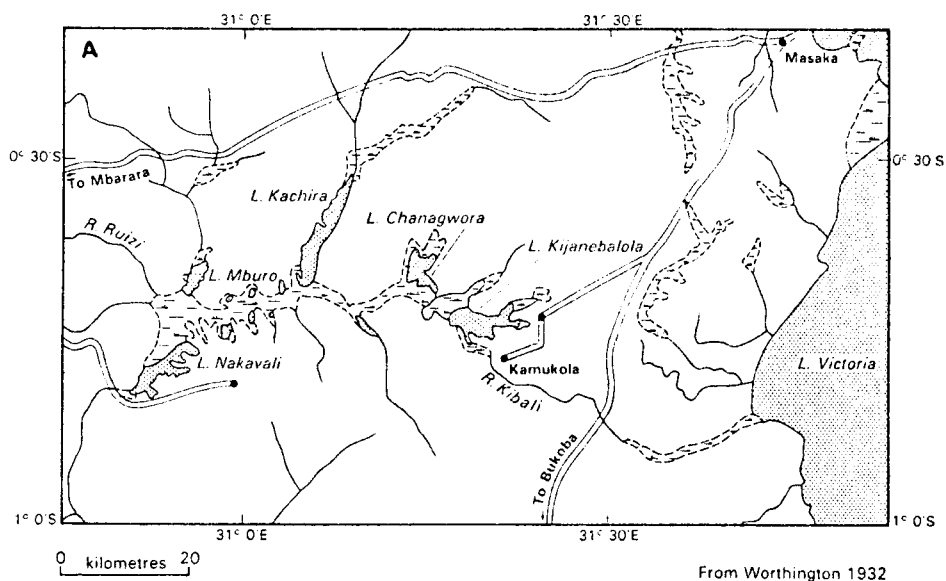


Fig. 6.13 Maps of lakes in the NW of the L. Victoria catchment;
(a) Lakes Nakavali, Kijanebalola, Chanagwora, Kichira and Mburo;
(b) Lake Nabugabo. Swamp areas associated with these lakes are
also indicated.

The chief inflow is the Ruizi River from the west, which has a common headwater swamp with the River Ntungwe which flows to Lake Edward. Their main outflow is the River Kibali which flows, via the Kagera, into Lake Victoria. The HYDROMET Survey (1974) excludes them from the Kagera River catchment but in the Hydrological map of the Uganda Atlas they certainly appear to flow into this river. The complex is surrounded by savanna grasslands but inter-connected by aquatic grass and herb swamp (Uganda Atlas). The size and shape of the lakes themselves varies from year to year (Worthington 1932).

Physical data from Worthington (1932)

Some characteristics of the lakes in the NW catchment of L. Victoria

	Alt. m	Area km ²	max. m	Temp. °C	pH	Secchi m
Nakavali		26	3.5	24.8-25.9	7.7-8.5	0.5
Mburo		10.4				
Kachira	1230	36.3	4.1	25-26	8-8.4	0.5
Chanagwora)				
Kijanebalola	1226	170	4.8	23.3-24.8	8.3	0.4

Invertebrates: Lowndes (1936) records Crustacea from three of these lakes:

	Nakavali	Kijanebalola	Kachira
<u>Ceriodaphnia rigaudi</u>	+	+	
<u>Moina dubia</u>	+		+
<u>Cyclops leuckarti</u>	+	+	
<u>Cyclops hyalinus</u>			+

Fish & fisheries: When Worthington (1932) visited these lakes he found Clarias mossambicus, C. wernerii and Haplochromis spp in all the lakes but no Tilapia. He recommended the introduction of Tilapia from Lake Victoria. A number of introductions of various species of Tilapia, from various places, were subsequently made by the Game Department and are recorded in their Annual Reports.

Lake Kijanebalola

This is a finger-like lake about 30x2km, in South Buganda Province. Its major outlet is the Kibale River. It is much the same depth all over and when the water level is high it overflows in to the Kibale. This happens about every twelve years (Worthington 1932) and in between such times it has no outlet. Catches of fish seemed to be declining after 1971 and a fishery resource survey was carried out in May and July 1975 (Okaronen 1975) during which the majority of the catch was Haplochromis spp. but Clarias, Protopterus, Tilapia nilotica, T. esculenta and T. variabilis were also caught. About 465 canoes were reported to be fishing on the lake in 1974.

Lake Mburo

The Lake Mburo Game Reserve has recently been gazetted as a National Park (Oryx April 1983) with an area of 530km².

Lake Nabugabo

This small lake is primarily known to limnologists and zoologists for the very low conductivity of its water and the evolution of its endemic species of fish. The information given here is taken from Worthington (1932) and Beadle (1981).

The lake is 25 - 30km² in area and has a maximum depth of c5m. It is separated from Lake Victoria only by a sand bar (c1.2km wide at its narrowest point) which has been formed by wind induced currents in the main lake. Most of the lake is surrounded by swamp but there is forest along the NW shore and a sandy beach (Fig.6.13).

From dates established for contemporary raised beaches at the same level, it seems that L. Nabugabo has only been isolated for about 3700 years. There are 9 species of Haplochromis of which four have been described by Greenwood (1965) as endemic and must have evolved during that time. The other five are still found in L. Victoria and the four are clearly derived from stock common to closely related species in the main lake. The two species of Tilapia which occur in Nabugabo also occur in the main lake. The lake was stocked with T.nilotica, T. leucosticta and T. zillii in 1954, 56 and 58. In 1932 Worthington suggested that L. Nabugabo would be suitable for the experimental introduction of the highly predatory Nile perch before introducing it to L. Victoria. The introduction was strongly opposed particularly when the true interest of the fish fauna became known. Other fish species recorded include Protopterus aethiopicus, Alestes nurse, Clarias mossambicus, Bagrus docmac, Schilbe mystus, and Synodontis afro-fischeri. Gnathonemus longibarbis and Clarias weneri are restricted to the swamps.

The inflow water to L. Nabugabo passes over very insoluble rocks and is of extremely low salinity (0.015 g/l) and about 20% of that in the main lake. On its E. shore the lake merges with an extensive area of Sphagnum dominated swamp which has water of very low pH (3.5 - 4) underneath. The water in the lake has a pH of 7 - 8.2. There are no molluscs in the lake and thus no vectors of bilharzia. The snails are presumably limited by the low concentration of calcium which may also explain the absence of crabs although they are abundant in L. Victoria.

The water from L. Nabugabo drains through the sand bar into the main lake.

Chemical composition of the water June 1967.

Conductivity	25.10 ⁻⁶ S.cm ⁻¹
Na	0.090 meq/l
K	0.028 meq/l
Ca	0.060 meq/l
Mg	0.020 meq/l
CO ₃ +HCO ₃	0.140 meq/l
Cl	0.040 meq/l
SO ₄	0.019 meq/l

The water is opaque due to the suspension of organic detritus and abundant phytoplankton dominated by Melosira sp.

6.3.d BASSIN DE L'AKAGERA / AKAGERA BASIN

1. Géographie et géologie

Situation: Le bassin de l'Akagera (1°30'-2°30'S, 30°-31°E) est étudié ici en raison de la présence d'une zone inondée intégrée au Parc National de l'Akagera (Rwanda). La zone amont, dite du Bugesera, est en partie aussi au Burundi; un lac est en Tanzanie.

La morphologie de l'Est du Rwanda et des régions de Tanzanie et d'Uganda comprises entre le lac Victoria et l'Akagera dérive d'une ou de plusieurs surfaces d'érosion tertiaire et quaternaire. Celles-ci se sont établies sur le socle précambrien qui forme l'armature de toute l'Afrique Orientale. Ces surfaces ont été rajeunies à la suite des soulèvements qui ont formé les Rifts et les montagnes qui les bordent mais l'Est du Rwanda, proche de la cuvette du Victoria et éloigné des parties les plus relevées de l'ensemble, n'a été que faiblement repris par l'érosion.

Au niveau de l'Akagera, les roches du socle appartiennent au système du Burundien-Précambrien, appelé Karagwe-Ankole en Uganda et en Tanzanie. Elles sont formées de plusieurs séries sédimentaires distinctes, mais celles-ci n'interviennent pas dans la morphologie de la dépression de l'Akagera qui suit, du Nord au Sud, une zone anticlinale du socle où les granites apparaissent; les climats tropicaux favorisant l'altération superficielle des granites, ceux-ci forment une dépression par rapport aux roches environnantes.

L'Akagera suit cette dépression et le ralentissement de son cours a entraîné un alluvionnement important et, par suite, la formation des différents lacs qui occupent la dépression. Plus au Nord, l'Akagera traverse des roches non magmatiques dans lesquelles son cours se précise mieux.

Toute la région septentrionale du lac Ihema jusqu'au Iwapibari est entourée d'une vaste vallée à fond d'alluvions appartenant d'une part à l'Holocène et d'autre part au Pléistocène.

Les régions côtières occidentales, au Sud du Lac Ihema, sont formées par des assises pélitiques de séricitoschistes et phyllades.

Le bassin de l'Akagera, fait partie du bassin du Nil (Nil-Akagera), prenant naissance au Sud de la crête Zaïre-Nil à l'une des sources de la rivière Nyabarongo appelée Mwogo. Elle reçoit un affluent: l'Akanyaru et draine les eaux du haut Nil vers le lac Victoria en franchissant les chutes de Rusumo et en pénétrant dans une plaine couverte d'une papyrus qui comporte un grand nombre de lacs (tableau 6.11 et fig. 6.14 et 6.15)

Il faut distinguer deux sortes de lacs. Les premiers ont une communication directe avec l'Akagera: il s'agit des lacs Mihindi, Ihema, Rwehikama et Rwamapanga; les autres sont séparés du fleuve, souvent par des distances de 1 à 10 km: ce sont les lacs Rwanye-Kizinga, Hago, Kivumba et Nasho. Malgré les prairies flottantes et l'étendue de papyrus dont la superficie est parfois

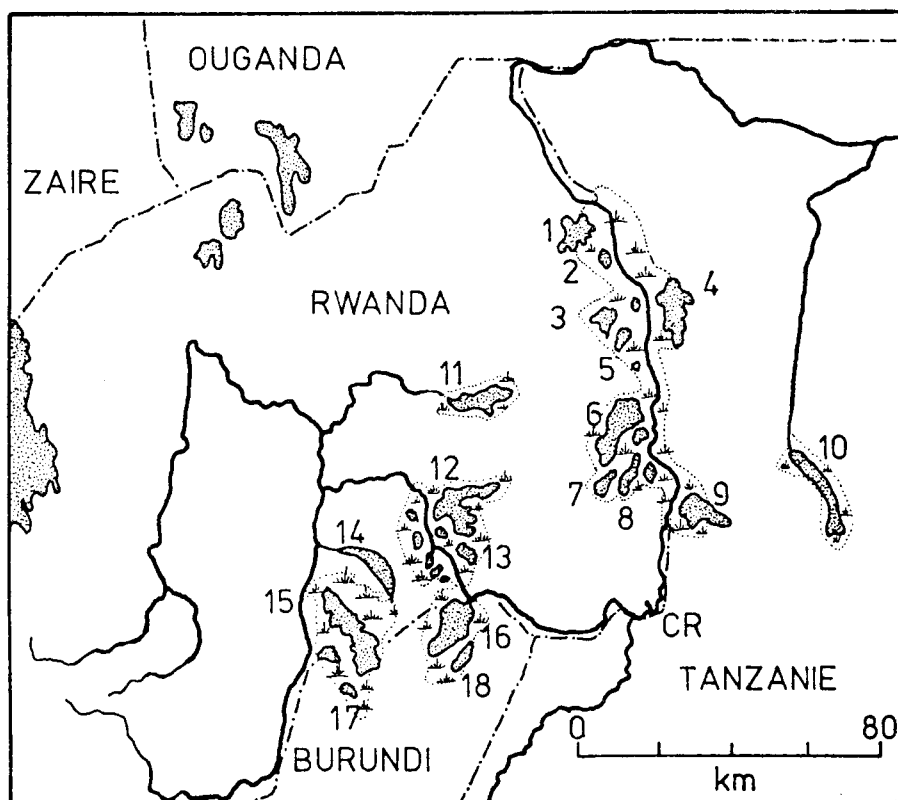


Fig. 6.14 Carte générale du bassin de l'Akagera / General map of the Akagera Basin.

- | | |
|----------------------|----------------------|
| 1: Lac Rwanyakizinga | 10: Lac Burigi |
| 2: Lac Mihindi | 11: Lac Muhazi |
| 3: Lac Hago | 12: Lac Mugesera |
| 4: Lac Mujunju | 13: Lac Sake |
| 5: Lac Kivumba | 14: Lac Cyohoha Nord |
| 6: Lac Ihema | 15: Lac Cyohoa Sud |
| 7: Lac Nasho | 16: Lac Rugwero |
| 8: Lac Rwehikama | 17: Lac Lirwihinda |
| 9: Lac Bisongo | 18: Lac Kanzigiri |

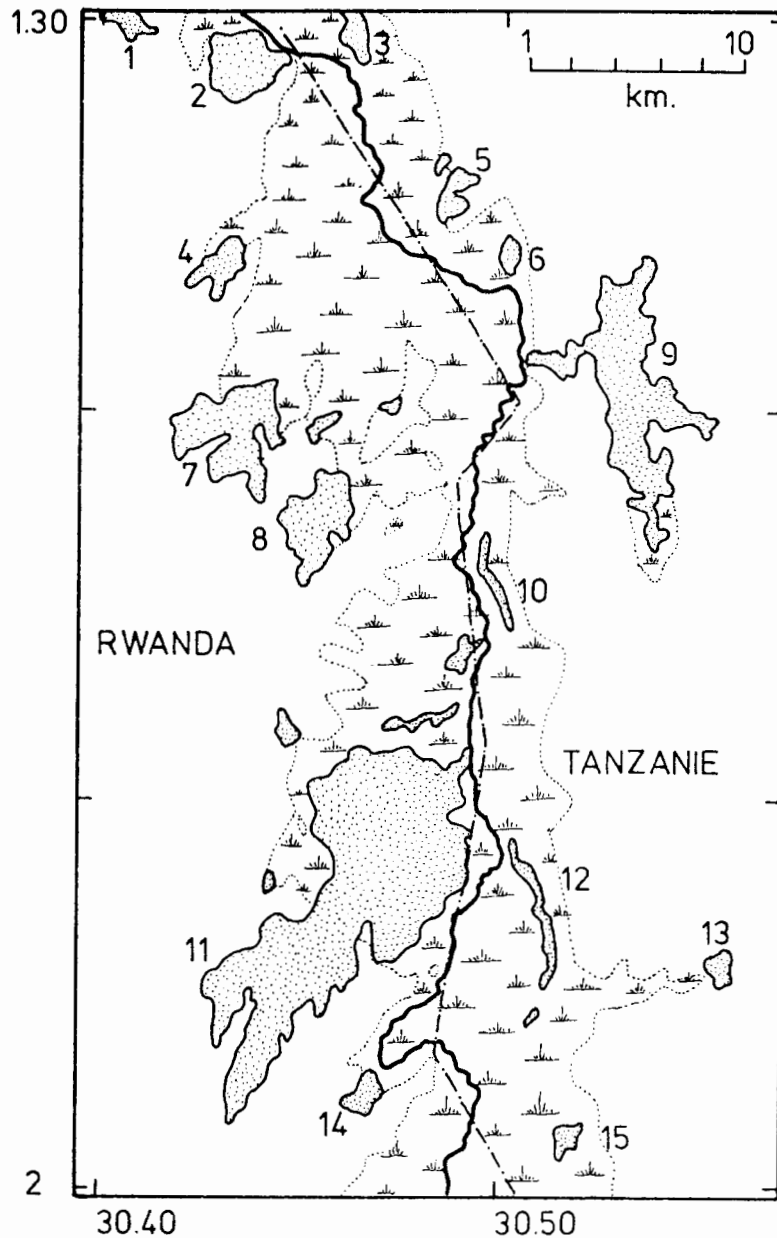


Fig. 6.15 Bassin de l'Akagera: zone incluse dans le Parc National/
The Akagera Basin: area included in the Akagera National Park

- | | |
|-------------------------|---------------------------|
| 1: Lac Rwanyanyakizinga | 9: Lac Mujunju |
| 2: Lac Mihindi | 10: Lac Sekena |
| 3: Lac Ouko | 11: Lac Ihema |
| 4: Lac Kisanju | 12: Lac Kasanga |
| 5: Lac Kasahi | 13: Lac Mubanza |
| 6: Lac Twawala | 14: Lac Rwakibale |
| 7: Lac Hago | 15: Lac Lweru kwa Kalambi |
| 8: Lac Kivumba | |

importante, ces lacs communiquent également avec l'Akagera soit par des chenaux naturels creusés par les courants, soit par ceux que les pêcheurs banyembo ont créés. D'autre part, ces lacs peuvent communiquer indirectement avec l'Akagera par infiltration lente sous les prairies flottantes, sous l'action des hautes eaux et des étiages du fleuve.

Même les lacs communiquant directement avec le fleuve en sont parfois isolés à la fin de la saison sèche et au début de la saison des pluies, lorsque le passage Akagera-lac devient insignifiant ou même inexistant.

Tous ces lacs, communiquant ou non avec l'Akagera directement ou indirectement, subissent une variation importante de l'étendue de leurs eaux libres, des zones d'inondation proprement dites et de leur profondeur suivant la hausse ou la baisse du niveau de l'Akagera. Chaque année le niveau varie de 1,0 à 1,5 m (deux fois par an) suite aux différentes saisons sèches ou pluvieuses. Le lac Mihindi communique avec l'Akagera par un large passage ouvert durant toute l'année. Seules, une partie de sa rive occidentale et les rives Nord-Ouest, Nord et Nord-Est, au contact de l'Akagera, sont bordées de marais permanents. Au sud du lac Mihindi, s'étale la plus grande étendue de marais permanents de l'Innghézi, qui est la zone d'inondation de l'Akagera sur sa rive gauche. Sur la bordure Ouest de ce tapis végétal flottant, sillonné de nombreux chenaux et interrompu par des eaux libres de surface fort variable, on trouve les lacs Kishandju, Hago et Kivumba.

L'altitude de l'ensemble des lacs est comprise entre 1100 et 1900 m.

2. Climat BS a₅ (Köppen) (fig. 6.8, Lulama)

4 saisons principales: 2 saisons sèches chaudes, 2 saisons pluvieuses chaudes.

Insolation: Moy. ann.: 2200 - 2250 h année⁻¹; max. en juillet (env. 235 h), min. en janvier (env. 110 h).

Pluviométrie: Moy. ann.: 650 mm; max. en janvier (env. 110 mm) et mai (100 mm); durée moyenne de la saison sèche la plus longue: 90 jours.

Température de l'air: Moy. ann.: 22,5°C; max. en septembre (moy. vraie env. 23,5°C; moy. max. journ. 29,5°C; moy. min. journ. 17,5°C); min. en mars (moy. vraie 21,5, moy. max. journ. 27,5, moy. min. journ. 14,5°C).

Kiss (1976) signale que la température de l'air varie entre 14,4°C (minimum) et 32,8°C (maximum absolu). C'est généralement entre 14 et 16 heures que la température journalière atteint son maximum et entre 5 et 6 heures son minimum quelle que soit la saison.

La région du bassin de l'Akagera est faiblement arrosée (650 à 900 mm), la saison des pluies dure environ huit mois. La région connaît un rythme climatique à quatre saisons assez semblable à lui-même sur toute l'étendue du bassin. Les variations thermiques

annuelles étant faibles, c'est essentiellement la pluie qui définit les saisons.

- De la mi-septembre à la mi-décembre: les averses sont assez fréquentes et assez fortes; c'est la petite saison des pluies. Il tombe alors, pendant ces trois mois, environ 27% des précipitations annuelles. L'humidité atmosphérique est forte, de telle sorte que lorsque le ciel s'est dégagé après une forte pluie de soirée, ce qui permet à la terre de se refroidir pendant la nuit, des brouillards se forment le matin, particulièrement au-dessus des vallées où l'humidité atmosphérique est maximale.
- Dès la fin du mois de décembre: les averses deviennent plus rares, elles ne disparaissent pas en janvier et reprennent vite dès février. Cette "petite saison sèche" n'est, en fait, qu'une rémission des pluies. Elle est marquée dans le bassin de l'Akagera.
- La grande saison des pluies: elle commence dans la deuxième quinzaine de février et se prolonge jusqu'à la fin de mai ou le début de juin selon les régions et les années. En mars, avril et mai tombent, en général, 40% des précipitations annuelles. Les pluies sont alors particulièrement fortes sur les reliefs; ce sont des averses orageuses, souvent au milieu de la journée et qui durent alors pendant quelques heures.
- La grande saison sèche règne en juin, juillet et août: elle gagne progressivement d'Est en Ouest l'ensemble du pays mais elle s'interrompt à peu près partout en même temps avec la petite "pluie des vaches" de la fin du mois d'août. La durée peut varier considérablement (de même que pour les autres saisons) d'une année à l'autre; l'air est alors très sec. L'humidité relative vers midi n'est que de 20%.

Vents: Le régime des vents est assez régulier sur les lacs du bassin de l'Akagera. Pendant la saison sèche, les vents viennent du NNE; ceux de l'ESE amènent les pluies pendant la saison des pluies, tandis que les vents soufflant du Sud et du Sud-Ouest sont à l'origine de violents orages.

Les vents soufflent toujours à faible vitesse, le plus souvent 3 à 6 km/heure, exceptionnellement 10 km/h;

La nuit, pendant les saisons des pluies, les lacs sont légèrement agités. Le matin, ils se calment et, vers le milieu de la journée, ils s'agitent à nouveau pour s'apaiser en fin d'après-midi.

Pendant les saisons sèches, les phénomènes sont inversés: Les nuits sont calmes après une agitation matinale; le milieu du jour est calme également mais on observe une agitation avant le coucher du soleil.

3. Morphométrie et hydrologie (Voir tableau 6.11)

4. Les Facteurs physico-chimiques (Voir tableau 6.12 et 6.13)

Température: La température de l'eau de surface varie, au cours de l'année entre 22 et 27,00°C et, au fond de 21,22 à 24,40°C.

Tableau 6.11 Localisation et données morphométriques et hydrologiques pour quelques lacs de L'Akagera

Lac	Pays	Superficie km ²	Développement côtier km	Profondeur maximum m	Profondeur moyenne m	Volume d'eau 10 ⁶ m ³	Long. max. km	Larg. max. km	Communi- cation avec l'Akagera	Parc National
Basse Akagera										
Rwanya-Kizinga	R	19,6	43,7	4,3	2,6	42,3	10,3	4,3	N.P.	+
Mihindi	R	10,9	14,5	6,8	4,4	41,8	4,2	3,9	P.	+
Hago	R	16,1	33,5	5,8	4,5	45,2	6,0	5,8	N.P.	+
Kivumba	R	8,7	18,2	5,6	4,2	30,3	5,2	3,5	N.P.	+
Ihema	R	86,4	77,8	7,0	4,8	512,6	22,0	7,8	P.	+
Rwakibare	R	3,6	9,5	6,0	4,3	13,6	4,0	1,8	P.	+
Rwehikama	R	19,2	36,3	6,7	4,1	51,4	14,0	3,1	P.	Non
Rwamapanga	R	9,5	17,5	7,0	5,2	32,6	7,0	2,2	P.	Non
Nasho	R	13,7	27,8	6,3	4,2	43,0	8,-	2,1	N.P.	Non
Ngoma (Bisongo)	T	50,0	48,6	8,6	5,3	98,0	14,5	4,8	P.	Non
Mujunju (Rwakajunju)	T	80,0	57,0	11,0	5,9	182,0	14,9	6,1	P.	Non
Rushwa	R	5,0	NC	5,0	NC	NC	NC	NC	P.	+
Burigi	T	186,0	227,0	7,8	4,6	930,0	42,0	7,0	P.	Non
Haute Akagera										
Rugwero	R+B	100,0	76	3,9	2,1	210,0	18,0	14,5	N.P.*	Non
Cyohoha Sud	R+B	76,0	227	11,0	5,2	395,0	32,0	2,0	N.P.*	Non
Cyohoha Nord	R	36,0	NC	NC	NC	NC	NC	NC	N.P.*	Non
Tkimba	R	35,3	27	4,0	2,8	99,0	6,1	6,1	N.P.*	Non
Lirwihinda	B	4,0	NC	NC	NC	NC	NC	NC	N.P.*	Non
Kanzigiri	B	12,0	NC	NC	NC	NC	NC	NC	N.P.*	Non
Birira	R	5,4	NC	NC	NC	NC	NC	NC	N.*	Non
Gaharwa	R	26,3	NC	NC	NC	NC	NC	NC	N.P.*	Non
Gashanga	R	2,3	NC	NC	NC	NC	NC	NC	N.P.*	Non
Kirimbi	R	2,3	NC	NC	NC	NC	NC	NC	P.*	Non
Mugesera	R	39,2	NC	NC	NC	NC	NC	NC	P.*	Non
Sake	R	14,3	NC	NC	NC	NC	NC	NC	P.*	Non

Pays: R = Rwanda; B = Burundi; T = Tanzanie

Communication avec l'Akagera: P = Permanent; N.P. = Non permanent; * = communication avec affluent et non l'Akagera elle-même. Parc National: + = inclus dans le Parc; Non = Non inclus.

Tableau 6.12 Données physico-chimiques disponibles sur les lacs de la Haute Akagera en amont des chutes de Rusumo (d'après Kiss 1976).
Available physico-chemical data on lakes of upper Akagera, above the Rusumo Falls (quoted from Kiss 1976).

Lac	Temp. (°C) (Surf.)	pH	Conduct. 10 ⁻⁶ < S.cm ⁻¹	Alcal. meg/l	Dur. tot. (CaCO ₃) mg/l	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	CO ₃ HCO ₃ (mg/l)	CO ₂ libre	Prof. (m)	Transp. (m)
Mugesera	25	9	236	---	85	---	---	---	---	---		Tr	3	
Rugwero	S 26	8,5- 8,8	155 à 156	1,5	68	4,40	6,07	13,40	6,35	5,40	91,51	5	5-6	0,3-0,4
	F	7,5-9	158	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Sake	26	8	182	---	68	---	---	---	---	---	---	0	4,5	
Cyohoha	S 23- 25	8,5- 9,5	250 à 256	2,5 2,9	102 ---	9,00 ---	10,85 ---	25,75 ---	9,55 ---	4,30 ---	152,52 170,82	0 ---	7 ---	0,7-0,8
Cyohoha (N)	21,5 -26	9	460 à 510	---	153	---	---	---	---	---	---	0	2-2,5	
Birira	25	8	157	---	68	---	---	---	---	---	---	0	6	
Gaharwa	25	0	192	---	85	---	---	---	---	---	---	---	2	
Gashanga	26	7	134	---	70	---	---	---	---	---	---	10	3	
Kirimbi	24	8	204	---	95	---	---	---	---	---	---	10	2,5	
Mirayi	25,5	7	144	---	68	---	---	---	---	---	---	20	3,5	
Kodogo	24	6,5-7	129	---	81,6	---	---	---	---	---	---	15	3	
Murago	25	8,5-9	141	---	74,5	---	---	---	---	---	---	5	3	

TABLEAU 6.13. (1^{ère} partie). — Données physico-chimiques disponibles sur les lacs de l'Akagera, en aval des chutes de Rusumo (Kiss 1976, Karangwa 1982)
Available physico-chemical data on Akagera Lakes, downstream from the Rusumo Falls (Kiss 1976, Karangwa 1982)

		Temp. (°C)	pH	Conduct $\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	Res. Sec (mg/l)	Alcal. (mécq/l)	Dur. tot. (°F)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)
Rivière Akagera		22,8	7	111	9,2	0,7	3,22	4,60	4,9	4,1	1,0	7,4
Lac Ihema	Surf Fond	24,6 à 26,7 23,5	8,8 à 7,1 6 à 6,3	110 100	9,5 à 8,3 12,8 à 100	0,65 à 1 0,80 à 1,6	2,58 à 2,9 2,70 à 4,1	2,4 à 5 3,9 à 6,9	3,6 à 3,9 4,2 à 5,4	5,4 à 5,9 3,9 à 6,3	0 à 3,2 0 à 2,9	4,9 à 8,8 3,9 à 7,8
Lac Mujunju	S F	—	8,5 7,4	97 98	—	0,75 0,80	3,13 —	5,35 —	4,34 —	6,5 —	4,6 —	9,23 10,29
Lac Ngoma (Bisongo)	S F	— —	8,4 7,2	101 97	10,01 —	0,90 —	3,03 —	4,22 —	4,65 —	— —	— —	8,20 —
Lac Rwanya-Kizinga		—	7,45	83	—	0,85	2,85	—	—	—	—	—
Lac Rwchikama	S F	—	7,81 à 8,92 7,0 à 7,65	94 à 105 98	8,1 à 9,8 9,1	0,90 à 1,25 1,25	32,6 à 9,89 —	5,07 à 5,15 —	3,94 à 4,82 —	4,8 4,95	2,1 —	4,97 à 7,95 —
Lac Hago	S F	—	6,92 à 8,92 7,82	97 99	10,4 12	1 0,9	2,86 2,90	4,78 à 9,5 4,64 à 9	3 à 4,03 2,4 à 4,03	5,5 5,4	0 5,4	5,66 4,95
Lac Mihindi		22,6 à 24	6,1 à 7,1	97	10,8	0,35 à 0,65	2,99	4,34	4,5	3,6	0 à 0,9	6,4
Lac Rwamapanga	S F	22 à 25 22,7 à 23,15	7,5 à 7,8 6,6 à 6,8	100 à 110 102 à 107	9,2 à 73 10 à 80	0,8 à 0,9 0,65 à 1,10	2,85 à 3,13 2,6 à 3,09	5,12 à 5,21 4,34 à 5,43	4 à 5,16 3,4 à 3,99	5,2 à 5,5 4,5 à 5,1	2,6 à 3,6 1,6 à 3,3	6,35 à 7,9 5,68 à 8,10
Lac Kivumba	S F	—	9,15 6,7	103 100	10,5 12,2	1,00	2,92 2,81	4,64 à 9 4,28 à 8	2,70 à 4,25 3,30 à 4,03	5,4 5,2	0	6,01 à 6,3 6,37
Lac Rwakibare	S F	23,7 à 26,8 22,7 à 23,6	6,8 à 7,2 6 à 6,4	93 à 107 102 à 107	10,2 à 60 10 à 90	0,75 à 0,9 0,65 à 1,5	2,94 à 3,09 2,6 à 2,77	5,12 à 5,35 3,64 à 5	3,8 à 3,86 3,25 à 3,3	4,5 à 5,2 4,3 à 5,1	1,6 à 3 1,3 à 3	6,74 à 8,1 6,39 à 8,7
Lac Rushwa	S F	—	7,35 6,48	95 92	—	0,70	2,65	—	—	—	—	—
Lac Burigi	S F	— —	8,85 8,35	430	—	4,90 4,75	11,8 11,6	20,70 20,0	16,70 16,10	40,0	19,5	9,45 14,08
Lac Ikimba	S F	— —	7,89 7,68	79 77	—	0,80 —	2,24 —	4,28 —	2,82 —	4,4 —	2,3 —	2,85 —
Marais Kageyo		24,6	7,05 à 7,6	90 à 109	8 à 8,3	1,0	2,85 à 3,26	3,85 à 5	4,56 à 4,86	—	—	4,8 à 7,2

TABLEAU 6.13. (2^e partie). — Données physico-chimiques disponibles sur les lacs de l'Akagera, en aval des chutes de Rusumo (Kiss 1976, Karangwa 1982)
Available physico-chemical data on Akagera Lakes, downstream from the Rusumo Falls (Kiss 1976, Karangwa 1982)

		NO ₂ (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	Fe ⁺⁺ (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)	O ₂ sat. %	CO ₂ libre (mg/l)	CO ₃ + HCO ₃ (mg/l)	Mat. org.	Transp. (m)	Prof. max (m)
Rivière Akagera		0	0	0	0,30	—	—	—	42,7	—	0,1	9,7
Lac Ihema	Surf Fond	0 0 à 0,3	0 0,03 à 0,5	0 0 à 0,03	0,1 à 0,7 1 à 1,6	6 à 9,2 6,7 à 9,2	105 8	traces 8,8	42,7	0,3 à 0,8 1,2 à 2	0,6 à 1	6
Lac Muiunju	S F	— —	— —	— —	0,15 0,80	—	—	—	45,75 48,80	—	0,5 à 1	—
Lac Ngoma Bisongo	S F	— —	— —	— —	0,6 1,10	—	—	—	54,90	—	0,5 à 1	—
Lac Rwana-Kizinga		—	—	—	—	—	—	—	51,85	—	0,5 à 0,7	—
Lac Rwehikama	S F	— —	— —	— —	0,56 0,95	5,8 6,5	—	—	54,9	0,4 1,3	0,6 à 0,8	—
Lac Hago	S F	— —	— —	— —	0,45 à 0,70	5,2 6	—	—	—	0,8 2,3	0,70	—
Lac Mihindi		0	0	0	0,2 à 0,9	—	—	—	39,65	—	0,6 à 0,9	5,20
Lac Rwamapanga	S F	0 0 à 0,02	0 0,07 à 1,6	0 0 à 0,03	0,2 à 0,6 0,9 à 2,5	8,0	86 à 100 0	0 12,3	48,8 45,56	0,7 2,4	0,8	—
Lac Kivumba	S F	— —	— —	— —	0,55 à 0,95 0,80	8 8,5	—	—	61,01	0,9 2,1	0,49	—
Lac Rwakibare	S F	0 0 à 0,04	0 0, à 0,04	0 à trace	0,3 à 0,4 0,8 à 2,1	8,4 8,4	56 —	0 44	54,9 39,65	0,7 2,1	0,6 à 0,9	6
Lac Rushwa	S F	— —	— —	— —	— —	—	—	—	42,70	—	0,60	—
Lac Burigi	S F	— —	— —	— —	— —	—	—	—	289,30	—	0,5 à 1	—
Lac Ikimba	S F	— —	— —	— —	0,5	—	—	—	48,80	—	0,35 à 0,5	—
Marais Kageyo		—	—	—	0,15 à 1,3	3,4	—	—	—	1,5	0,60	3,4

Les saisons sèches sont caractérisées par une tendance à la stratification pouvant souvent atteindre un écart de 2 à 4°C entre la surface et le fond, tandis que les saisons des pluies provoquent plutôt, en général, l'homogénéité de la masse d'eau.

Ces lacs peuvent donc être classés dans la catégories des lacs tropicaux de faible profondeur, holomictiques chauds.

pH: Le pH varie entre 7 et 9 en surface, entre 6 et 7,5 en profondeur, au cours de l'année. En général, pendant les saisons sèches, le pH baisse légèrement.

Ions dissous: Les cations alcalins et alcalino-terreux sont plus ou moins également partagés et leur quantité varie entre 2 et 10 mg/l suivant les différentes profondeurs et les saisons. Fe varie entre 0,1 et 1,4 mg en surface et de 0,5 et 9,0 mg/l au fond.

L'eau est relativement riche en hydrogénocarbonate (HCO_3), avec une variation de 30 à 85 mg/l. Les chlorures et la silice sont en faible concentration (3 à 20 mg/l), tandis que le SO_4 manque totalement.

Il semble qu'une carence en phosphate et en azote se manifeste car ces éléments sont consommés immédiatement après leur production.

Oxygène: La distribution d' O_2 correspond à celle des lacs tropicaux de faible profondeur. Les saisons de pluie sont caractérisées par une sursaturation et une quantité d' O_2 souvent assez importante jusqu'au fond. Pendant les saisons sèches, on note un déficit de saturation et les derniers mètres proches du fond sont parfois dépourvus d' O_2 .

5. Macrophytes

Parmi les plantes submergées figurent Ceratophyllum demersum et Potamogeton pectinatus. Les plantes flottantes enracinées comportent essentiellement Ludwigia stolonifera et Nymphaea nouchalii. Les plantes flottantes libres dominantes sont Pistia stratiotes et Lemna paucicostata.

On note de nombreux hélophytes dont Phragmites, Cyperus spp., Scirpus spp., Cladium.

Enfin figurent des arbustes: Aeschynomene elaphroxylon, Phoenix reclinata.

Deux communautés doivent retenir l'attention: la papyraie et sa frange en contact avec les eaux libres, dont les compositions floristiques sont données ci-dessous:

Papyraies
Cyperus papyrus
Ludwigia sp.
Melastomataceae sp.
Triumfetta sp.
Dryopteris gongylodes
Ipomoea sp.
Polygonum sp.

Frange devant papyraies
Vossia cuspidata
Echinochloa crus-pavonis
Leersia hexandra
Hydrocotyle ranunculoides
Utricularia inflexa
Ceratophyllum demersum
Echinochloa pyramidalis
Scirpus cubensis

Dans la région Sud, hors du parc national de l'Akagera, on assiste à un appauvrissement de la flore aquatique sous l'action de l'occupation par l'homme et notamment des défrichements dont certains sont liés au développement de la pêche.

6. Phytoplancton

La population phytoplanctonique est constituée par trois grandes familles: les Chlorophycées (5 genres et 6 espèces), les Cyanophycées, (3 genres et 6 espèces) et les Diatomophycées (un seul genre et deux espèces), (Kiss 1976). Toutes les espèces sont cosmopolites et leurs formes, variétés et sous-espèces, sont présentes dans de nombreuses autres eaux africaines.

Kiss (1976) a étudié le plancton du lac Ihema. Il a constaté, que la production primaire est comprise entre $1,51 \text{ g/m}^2/24 \text{ h}$ et $12,39 \text{ g/m}^2/24 \text{ h}$. Cette production primaire augmente en saison de pluies alors qu'elle diminue en saison sèche suivant la fluctuation saisonnière de la lumière.

7. Zooplancton

Trois groupes planctoniques sont présents: les Copépodes, les Cladocères, les Rotifères, avec un petit nombre d'espèces comme pour le phytoplancton. Cette pauvreté qualitative est compensée par une abondance quantitative.

D'après Kiss (1976), le plancton des lacs du bassin de l'Akagera est nettement celui de lacs eutrophes.

8. Poissons

L'ichtyo-faune est très diversifiée. 30 espèces ont été identifiées, appartenant à neuf familles; 22 d'entre elles sont communes au lac Victoria. Il convient de noter que la systématique des poissons du bassin de l'Akagera n'est pas parfaitement connue notamment pour les genres Clarias, Tilapia et Oreochromis et Alestes. Certaines espèces ont été introduites: T. rendalli, O. niloticus eduardianus (?), O. macrochir (?). On a signalé T. variabilis (?), O. esculentus (?)

9. Oiseaux

La liste systématique comprend 173 espèces réparties en 51 familles. L'avifaune est donc relativement plus riche que les autres groupes qui peuplent le bassin (Kiss 1976).

Une partie de cette avifaune joue un rôle très important dans la biologie du lac.

En effet, une trentaine d'espèces se nourrissent directement de poissons et d'insectes aquatiques. Elles peuvent donc être classées dans le régime ichthyo-et ichtyo-entomophage. On peut encore compter une quinzaine d'espèces entomo-malacophages qui consomment en outre des Batraciens.

Tableau 6.14: Lacs de la basse Akagera (Aval Chutes Rusumo):
Potentiel Piscicole (Dunn 1974)

Lac	Superficie (km ²)	Nombre optimal de pêcheurs	Prises potentielles maximales équilibrées (t/an)
<u>Dans le Parc National</u>			
Chuju	0.2	1	* moins de 10t/an
Hago	16.1	80	210
Ihema	71.9	360	900
Kajumbura	0.2	1	*
Kisanji (N)	0.4	2	*
Kisanji (S)	0.3	2	*
Kivumba	9.2	46	110
Mihindi	10.8	54	140
Muhari	0.6	3	*
Ngarenke	1.3	6	20
Rukira	0.5	2	*
Rwakibare	3.7	18	50
Rwanyakizinga	20.0	100	250
Sekena (groupe)	1.3	6	20
Subtotal	136.5	681	1730
<u>Hors du Parc National</u>			
Nasho	13.0	65	160
Rwahikama	21.1	105	260
Rwampanga	9.0	45	110
Subtotal	43.1	215	530
Total pour tous les lacs	179.6	896	2260

Tableau 6.15: Etat actuel de la pêche dans certains lacs du bassin de L'Akagera

LAC	Nombre des pêcheurs en 1975-76	Prises (tonnes)	Nombre optimal de pêcheurs (*)	Prises maximales les potentielles (tonnes) **
<u>BASSE AKAGERA</u>				
RWANYE-KIZINGA	15	225	100	250
MIHINDI	8	120	54	140
HAGO	6	90	80	210
KIVUMBA	5	75	46	110
IHEMA	25	375	360	900
RWAKIBABE	4	42	18	50
RWHIKAMA	35	245	105	260
RWAMAPANGA	30	230	45	110
NASHO	28	150	65	160
NGOMA - BISONGO	26	182	250	550
RWAKAJUNJU = MUJUNJU	15	100	400	850
RUSHWA	10	90	25	55
BURIGI	20	25	900	2000
<u>HAUTE AKAGERA</u>				
BIRIRA	6	70	27	54
CYOHOKA (N)	55	40	130	420
CYOHOKA (S)	65	40	31	770
GAHARWA	26	10	11	22
GASHANGA	13	30	11	22
KIRIMBI	15	20	11	25
MIRAYI	17	20	11	24
MUGESERA	325	300	196	390
RUGWEIO	150	280	100	220
SAKE	100	180	71	150
TOTAL	1050	2940	3045	6854

* D'après Dunn (1974); Blin (1977)

** D'après Henderson & Welcomme (1974).

Ces 173 espèces se subdivisent en différents groupes écologiques. Il y a des migrateurs d'Europe, tels Motacilla flava, Hippoboscus icterina, Sylvia borin, Phylloscopus trochilus, Riparia riparia, Hirundo rustica, qui passent ou hivernent avec quelques migrateurs africains, tels Creophaga cinerea ou enfin Quelea erythrops, qui passent en bandes de plusieurs milliers d'oiseaux.

Chaque année, également au mois d'août, les grues couronnées, Balearica regulorum, se rassemblent au bord des lacs; on peut en observer des groupes de 20 à 30 qui se livrent à leur célèbre danse nuptiale. C'est à la même époque qu'on peut voir aussi des oies de Gambie, Plectropterus gambensis, tout le long des rives.

Tous les ans, des colonies de Phalacrocorax africanus, Phalacrocorax carbo, Anhinga rufa, Ardeola ralloides, Pyrherherodia purpurea nichent sur certaines îles.

Il faut aussi mentionner les aigles-pêcheurs, Haliaeetus vocifer, qui vivent sur des territoires bien délimités. Souvent les couples perchent sur les Acacia du bord ou sur les Aeschynomene elaphroxylon ou même encore, sur des tiges de papyrus, courbées au-dessus de l'eau.

Les martins-pêcheurs pie, Ceryle rudis, sont très nombreux; ils partagent les territoires des aigles-pêcheurs. Le héron goliath, Ardea goliath, est souvent seul. Il vit sur les berges dans la ceinture de papyrus ou sur les plages. Il est assez fréquent et présent toute l'année.

10. Reptiles et Mammifères

La partie du bassin comprise dans le Parc National de l'Akagera comporte de nombreux mammifères de savane arbustive.

Dans les eaux elles-mêmes il faut noter la présence des hippopotames, des crocodiles et des loutres, ces deux dernières espèces étant ichtyophages préférentiels.

11. Activités humaines

La pêche (Voir tableaux 6.14 et 6.15)

La plupart des lacs peu profonds et très poissonneux, et dont les pêches semblent encore à une étape de développement très primitive sont, en fait, exploités d'une manière efficace et parfois même surexploités. Les captures comportent 20% de Clarias spp. et 60% de Tilapia spp.

Les estimations relatives à la production et à l'exploitation ont été faites au moyen d'une hypothèse fondée sur les données théoriques disponibles selon laquelle, pour assurer le maintien du rendement maximal possible dans les lacs du type considéré, cinq pêcheurs par km² et des prises de 125 kg/ha/an sont les maximums permis.

Théoriquement, on ne pêche pas dans les lacs qui se trouvent dans le Parc National, bien qu'un braconnage considérable se fasse à partir de la rive tanzanienne de la rivière. Les trois lacs au sud du parc sont pêchés mais les difficultés du terrain sont telles qu'il est impossible d'évaluer l'importance de ces pêches.

6.4 THE WESTERN RIFT

by Mary J. BURGIS

The Western Rift contains a series of large lakes, from Lake Mobutu Sese Seko (formerly L. Albert) in the North, through Lake Edward (for a period referred to as L. Amin) and L. Kivu, to Lake Tanganyika the second deepest lake in the world. Where the Ruwenzori Mountains rise from the floor of the Rift Valley, between Lakes Edward and Mobutu Sese Seko, they have formed a side-arm to the East of the main valley in which lies L. George, connected to L. Edward by the broad Kazinga Channel.

6.4.a LAKE GEORGE

L. George is a shallow, naturally eutrophic lake which has supported an important fishery for many years. During the International Biological Programme (1966-72) it was the subject of intensive investigation by a group of limnologists from Britain and Uganda plus many visitors from other countries. Summarising papers have been published by Viner and Smith (1973), Burgis et al (1973), Moriarty et al (1973), Ganf and Viner (1973), Greenwood (1976) and Burgis (1978): the latter gives a full list of publications from this project.

1. Geography and Morphology

Lake George is in Western Uganda, the northern half is in the District of Toro and the southern half in Ankole District.

Location: on the equator at 30°E

Altitude: 913m asl

Area: The drainage basin covers 9955km² including 250km² of the lake itself. The HYDROMET survey (1982) gives the area of the lake as 385km² which presumably includes that of the extensive swamp to the N.

Depth: Average depth of the lake is 2.4 ± 0.1m and this shows little variation over most of the area. The maximum depth is only about 3m and occurs where the Nsonge River enters the lake from the northern swamps.

Landscapes: (Fig.6.16) Lake George lies on the floor of the Rift Valley immediately S. of the Ruwenzori Mountains which rise steeply to nearly 5000m at their permanently snow-capped peaks. To the East the eastern escarpment of the Rift is close to the lake and rises to more than 1200m. To the West and SW lie savannah grasslands and the much larger and deeper L. Edward whose western shore is formed by the western escarpment of the Rift.

The L. George basin itself could be described as a roughly square or diamond-shaped saucer. Its width, c15km, is about the same as its length and there is little variation in its depth or substrate, which is a deep flocculent mud composed largely of dead algae. Two large

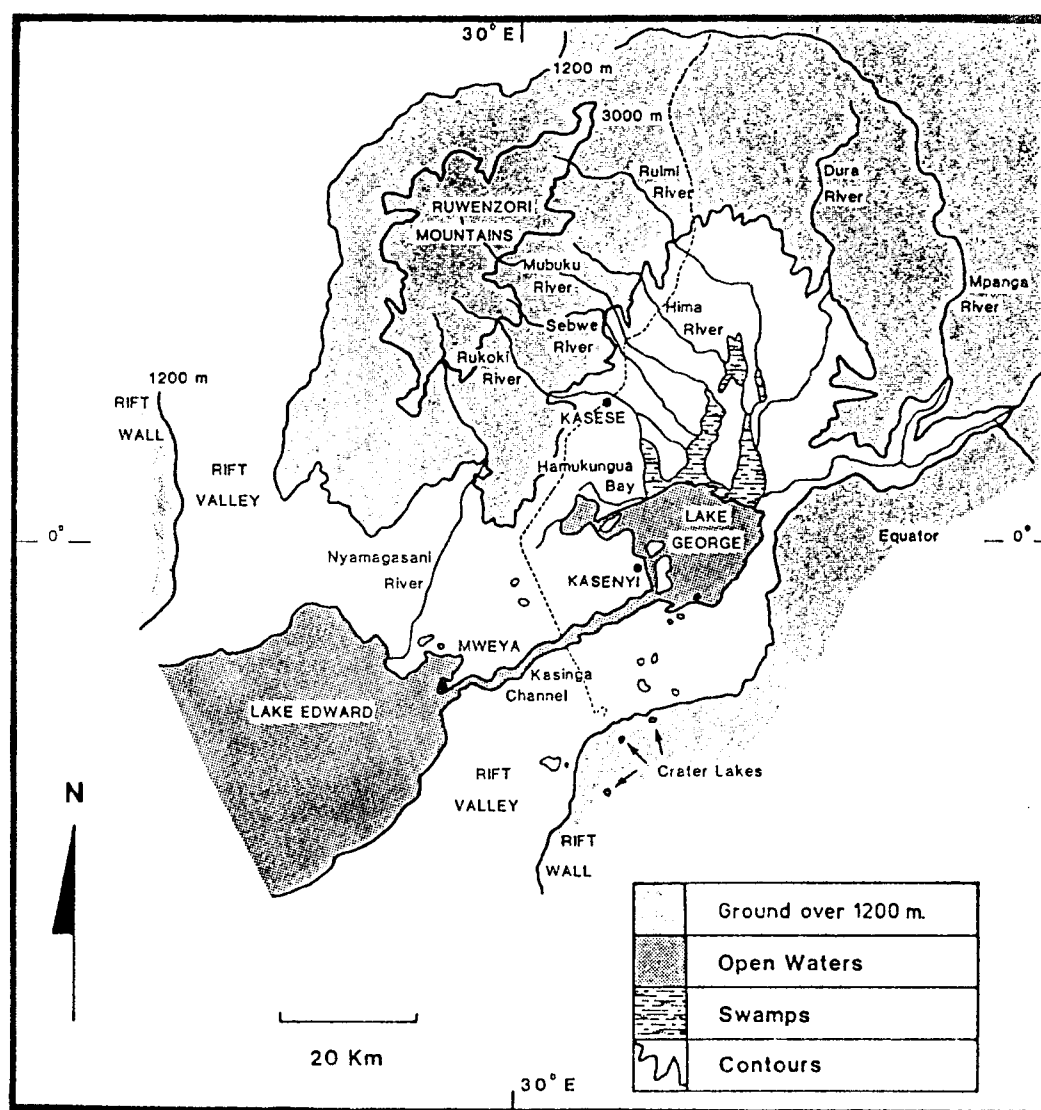


Fig 6.16 Map of Lake George and its catchment area.

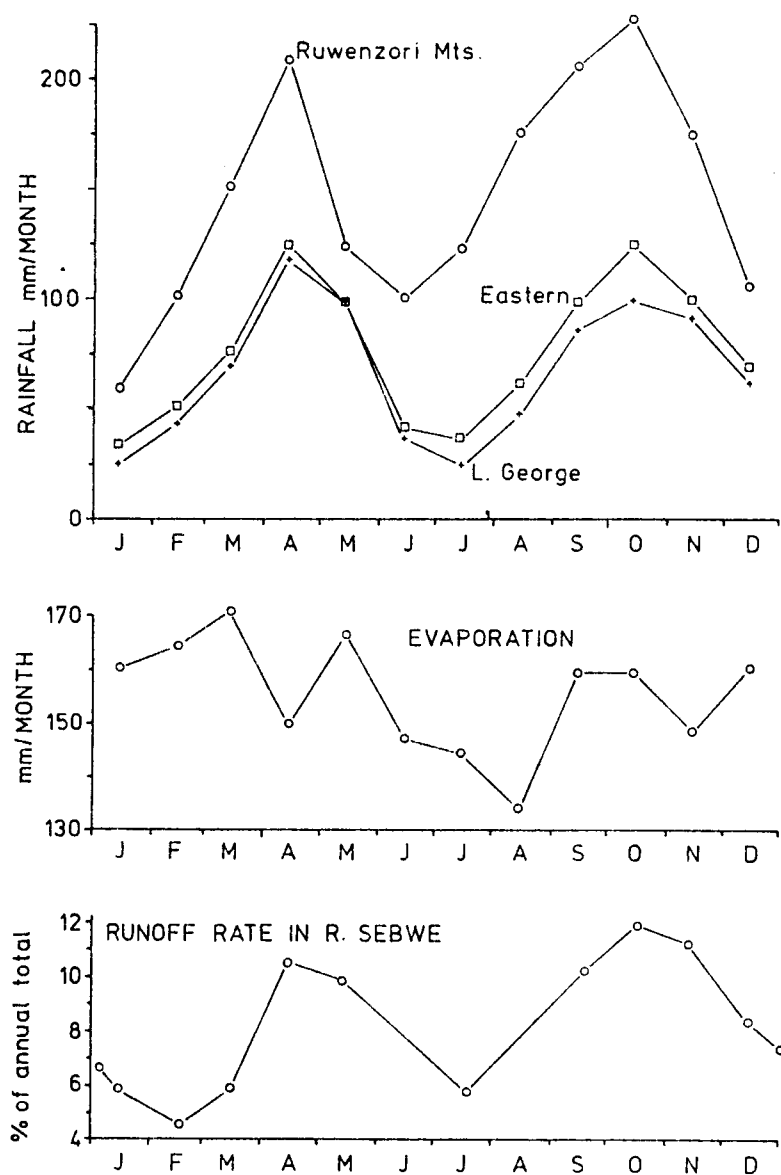


Fig. 6.17 Seasonal variation in rainfall on the Ruwenzori mountains, Lake George and the eastern sector of its catchment; evaporation from the lake and run-off in one of the main rivers flowing from the Ruwenzori into Lake George. Redrawn from Viner and Smith 1973.

islands lie close to the western shore and a third almost blocks the entrance to the very shallow Hamukungu Bay in the NW corner of the lake. Otherwise the open water is uninterrupted.

To the North lies an extensive swamp through which the inflows from the Ruwenzori and the Mpanga River from the Eastern Escarpment, enter the lake. A smaller swamp fills the most southerly extension of the lake. Just S. of where the Kazinga Channel leaves L. George a flooded crater is connected by a narrow channel to the main lake.

2. Geology

(from Lock 1973) The underlying strata are Pleistocene sands and clays of the Semliki Series, supplemented in the SW by volcanic tuffs derived from explosion craters in the Chambura Game Reserve. These are about 8000 years old (Bishop 1970). In the N. large quantities of material eroded from the SE flank of the Ruwenzori Massif have been deposited as a broad alluvial flat which borders the lake.

3. Climate

The climate is equatorial and illustrated by the climatic diagram for Kasese (Fig.6.8) which lies 16km NW of the lake at the foot of the Ruwenzori Mountains. Rainfall is somewhat higher there than over most of the lake area but it clearly shows the bimodal pattern of the seasonal cycle (Fig. 6.17).

Type: Afa Köppen

Insolation: Bright sunshine 1967 -70 averaged 2245 h/y

Total solar radiation: With a day length of 12.1h \pm 1 minute throughout the year, there is only small variation in solar radiation. Ten day means vary from 1720 - 2210 J/cm²/d but the range for individual days is wider and depends on such factors as cloud cover, but is still small in comparison with most other places. Mean 1970 \pm 13% J/cm²/d; range on individual days 860 - 2760 J/cm²/d; total approximately 7327 x 10³ J/m²/y.

Wind: Protected by the Ruwenzori to the N. and by the Rift escarpment to the E. and S., wind speeds are low, ranging from 0-3.5 m/s (monthly mean values 1966-68) with peaks in the wet seasons which are only obvious when meaned over the four years. Winds come predominantly from the E. throughout the year and are strongest in mid-afternoon (1500h) and minimal during the night.

Rainfall: There are two ill-defined rainy seasons per year; April-May, which is more marked than Oct.-Nov. Annual total c820mm per year.

Evaporation: mean values of 5mm/d obtained by the Penman equation with a total of about 2000mm per year and little seasonal variation (Fig. 6.17).

4. Hydrography and Hydrology (see Smith and Viner 1973)

The catchment area is 9705km² from which Smith estimated a total inflow to the lake of 1948.3×10^6 m³ per year. Of this more than 50% comes from gauged rivers of which the Mpanga (from the Rift escarpment) and the Mubuku (from the Ruwenzori) are the major contributors. Highest average flow rates were recorded on the Sebwe (1953 -68) in April- May, and September- November. Figure 6.17 shows the seasonal pattern of rainfall, evaporation and run-off in the Lake George catchment.

Inflows	Area of drainage km ²	% of inflow to L.George
from Ruwenzori (gauged)		
Rukoki/Kamulikwezi	183	6.7
Sebwe	83	3.3
Mubuku	256	20.2
Ruimi	266	9.7
Total from Ruwenzori	788	39.9
from Mpanga	4670	20.4
Ungaaged	3247	39.7

The division of the ungauged catchments is such that in total 57% of their inflow comes from the Ruwenzori and 38% from the Central Plateau.

Outflow: is via the Kazinga Channel which is some 36km long, has an average width of 1.5km and depth of about 3m. There is only 1m difference in altitude between L.George and L. Edward and the channel therefore behaves more like a lake than a river and estimation of discharge from flow-rate measurements is fruitless. Smith therefore calculated the total annual discharge from L. George by difference as shown below:

<u>Water balance for L. George</u>	millions m ³ per year
Inflow	1948
Direct rainfall on the lake	240

Total income	2153
Evaporation from the lake	456

Hence discharge down the Kazinga Channel	1697

The average flushing rate is approximately 2.8 times per year.

5. Physico-chemical characteristics of the water

Temperature: The average water temperature of L. George is about 24.6°C but, whereas the temperature of the bottom water varied only between 25 -26°C, that of the surface water showed a daily range from about 25 to sometimes as high as 36°C. On most days the column of water (2 - 2.5m) was intensely stratified during several hours in the

middle of the day. Stratification was broken down in the late afternoon and the water column remained isothermal during the night. Only on the coolest days did this cycle not occur and only under periods of unusual calm did the stratification persist overnight and perhaps for a few days.

Transparency: The dense concentrations of algae in the water column restrict light penetration and the depth of the euphotic zone. Secchi disc readings were from 26 - 46cm (Viner and Smith 1973) while the 1% level of total photosynthetically active radiation was 60 - 80cm.

pH: range from 8.5-9.5 with a maximum of 10.4. pH exhibited a diurnal pattern of stratification parallel to those of temperature and oxygen concentration.

Conductivity: The water of L. George is very dilute with a conductivity around $210 \times 10^{-6} \text{S/cm}$ (in the wet season of October 1967) to $235 \times 10^{-6} \text{S/cm}$ (in the dry season of July 1967).

Major ions: (from Viner 1969)

meq/l	Wet season July 1967	Dry season Oct. 1967
Na	0.89	0.85
K	0.114	0.097
Mg	0.6	0.64
Ca	0.722	1.0
HCO ₃	1.25	2.0
SO ₄	0.375	0.3
Cl	0.215	0.26
Mn 10^{-6}g/l	40.0	20.0
Fe (total) 10^{-6}g/l	520	332
SiO ₂ mg/l	20.5	20.0
<u>Nitrogen:</u> (total) mg/l	2.4	2.7
NO ₂ '	0	0
NO ₃ '' 10^{-6}g/l	0	28.4
NH ₄ + 10^{-6}g/l	51	0
<u>Phosphorous:</u>		
total PO ₄ -P 10^{-6}g/l	200	240
soluble PO ₄ -P 10^{-6}g/l	42.0	18.5

Oxygen: Although the oxygen concentration in the water column normally starts the day below saturation, intense photosynthesis in the shallow euphotic zone may raise the oxygen concentration of the surface waters as high as 250% saturation. Lower down, respiration is, however, keeping the oxygen concentration below 100%. This pattern of diurnal stratification is repeated on most days.

Mixing regime: The water column is subjected to a daily pattern of stratification and mixing which is illustrated by temperature, pH and oxygen. This series of diurnal changes is more marked than any

seasonal variation in its details. If mixing does not occur during an unusually calm period the water column rapidly becomes deoxygenated and when mixing does occur this may result in a "fish-kill". Such events are unpredictable and have not therefore been monitored but their occurrence is well documented and the cause inferred from the observation that air-breathing fish are not among those dead. It is known that such events may decimate the whole population in a fish pond but in Lake George they seem to be localized and the recovery of the affected area is aided by horizontal mixing both of the water and of the fauna. Such events do however illustrate the fragility of the apparent stability of conditions in Lake George.

6. Macrophytes (see Lock 1973)

Submerged aquatic macrophytes are absent from the main body of the lake and are only found in the clear inflow of the Nsonge River. Floating vegetation, particularly Pistia stratiotes is abundant and to the North there are extensive swamps dominated by Cyperus papyrus at the edges but having a forest of Ficus sp apparently floating in the middle of the area. The southern boundary of this swamp seemed to be stable over the period 1945 -72. Papyrus also fringes most of the shoreline where it is usually floating and associated with such climbing species as Ipomoea rubens, Melanthera scandens and Cayratia ibuensis. In more exposed places Vossia cuspidata forms floating patches in front of the papyrus. Lock describes two other marginal communities besides those dominated by papyrus. Those of muddy shores often have P. stratiotes floating on the lakeward side which, near the papyrus, are bound into a mat by Hydrocotyle ranunculoides. Cyperus articulatus and C. latifolius are also often found at or above the water line along these shores accompanied by such species as Commelina diffusa and Spilanthes oleracea. Sandy beaches only occur on the exposed eastern shores of the two islands and here Paspalidium geminatum grows in very open stands. Hippos do not seem to graze the floating vegetation although they make paths through it on their way to and from the water. Elephants have been seen wading out into the lake to feed on the fringing and floating vegetation around the islands.

The terrestrial grasses all around the western and SW shore are heavily grazed by a variety of large mammals. For a description of this terrestrial vegetation and that of the rest of the Ruwenzori National Park see Lock (1977).

7. Phytoplankton (see Ganf 1974)

Ganf identified 58 species of algae from the open water area of the lake. Of these 29 were blue-greens, 11 diatoms and 18 chlorophytes. Many more species (total >100) occur when those from the inshore and swamp areas are included.

The dominant genera were Anabaena, Anabaenopsis, Aphanizomenon, Lyngbya and Microcystis among the blue-greens, Melosira, Nitzschia and Synedra among the diatoms and Pediastrum and Scenedesmus among the chlorophytes. There is evidence that this composition was similar from the 1930s at least until the early 1970s. The blue-green algae comprised 70-80% of the biomass whose chlorophyll a concentration

averaged about 400 -500 mg/m². This varied little throughout the year and maximum values were less than twice the minimum.

The phytoplankton biomass is not homogeneously distributed across the lake and tends to have a concentric pattern with the highest concentrations in the centre of the lake. This is thought (Viner and Smith 1973) to be due to complex seiche movements within the lake.

The vertical distribution of the phytoplankton shows marked diurnal changes which are thought to be dependant upon water turbulence and thermal stratification. This is discussed in detail by Ganf (1974).

High phytoplankton biomass and warm water temperatures lead not only to high levels of photosynthesis (ultimately limited by self-shading) but also to high levels of algal respiration. It therefore proved very difficult to make an estimate of net primary production. Using light and dark bottle methods for both O₂ and C¹⁴ analyses gave estimates for gross photosynthesis of 15.56 gO₂/m²/12h and 4.5 gC/m²/12h. Changes of total CO₂ concentration in situ within the euphotic zone gave a value of 2.25 gC/m²/12h fixed during the day and in situ changes in the oxygen concentration gave estimates of gross photosynthesis of 12 gO₂/m²/12h. These last figures indicate zero net particulate production over 24 hours. It seems that photosynthetic fixation and respiratory breakdown are very finely balanced such that on some days net production is negative and on others positive. Overall there must be net production but it is a very small percentage of gross photosynthesis.

8. Invertebrates

Little is known about the invertebrates associated with the swamps, fringing vegetation and floating macrophytes but detailed studies have been carried out on the zooplankton (Burgis 1973, 1974) and on the benthos (McGowan 1974, 1975 and Darlington 1977). The zooplankton is dominated by a small species of herbivorous cyclopoid copepod Thermocyclops hyalinus. There is one other cyclopoid and only three species of Cladocera, found in relatively small numbers, in the main lake. Rotifera are found in greater variety (up to 15 spp.) particularly when inflow from the swamps is high and species normally associated with the swamp fringes are swept into the lake.

The larvae of the phantom midges (Chaoborus) are found in both the benthos and the zooplankton. Two species have been recorded C. ceratopogones and C. anomalous; they form large swarms when the adults emerge from the lake. The species composition of the benthos is limited to those able to survive in the soft flocculent mud which is frequently stirred into the overlying water. Only oligochaetes are found below the disturbed layer. Besides the two species of Chaoborus mentioned above the surface mud contains several species of chironomid larvae the most abundant of which is Procladius brevipetiolatus. Most of the species found in the mid-lake mud also occur inshore but here there is greater variation in the substrate composition and diversity of species found. Darlington (1977) found

no evidence of seasonal change in species composition or absolute levels of density and biomass during the period of her study. She also examined the horizontal distribution of the benthic fauna in some detail.

9. Fish

Thirty-two species of fish have been described from L. George. The majority (21 spp) are cichlids and 17 belong to the genus Haplochromis (Greenwood 1973). Only one of the Haplochromis species exceeds 12cm adult length and yet two of them H. nigripinnis and H. angustifrons make up nearly 60% of the biomass of the ten fish species that have a lake-wide distribution. Twenty percent of that biomass is made up of Oreochromis niloticus (= Tilapia nilotica = Sarotherodon niloticus), also a cichlid. This species was the most important component of the commercial fishery on L. George. It and H. nigripinnis are both herbivores and feed directly on the Microcystis and other blue-green algae that dominate the phytoplankton (see papers by Moriarty). H. angustifrons is a specialised benthic feeder adapted to sift the loose flocculent mud for chironomid larvae.

The ten species with lake-wide distribution also include the zooplankton feeders H. pappenheimi and Aplocheilichthys spp., the piscivorous H. squamipinnis and the larger carnivores Protopterus aethiopicus, Clarias lazera and Bagrus docmac.

Fish biomass and diversity is higher in the inshore areas of the lake. This may be correlated with the greater variety of feeding niches available inshore, plus the fact that many of those species that can feed in the open water areas of the lake have to come inshore to breed (eg the nest building cichlids such as O. niloticus) and the juveniles of the herbivores feed on micro-crustacea which are more abundant close to shore. The food preferences of the Haplochromis species have been discussed in some detail by Dunn (1975).

Estimates of the overall density and biomass of fish were made using a purse seine during 1971-72 by Gwahaba (1975): 45000 - 55000 fish/ha and 29 \pm 5 g/m². Biomass estimates ranged from 6.3 g/m² in the centre of the lake to 90.5 g/m² in the inshore region.

10. Other vertebrates

At the time of the IBP study there were thought to be about 3000 hippopotamus in the population that rested in the shallow inshore waters of the lake each day.

Large populations of fish-eating birds live on and around L. George; these include kingfishers, herons, cormorants, pelicans and the African fish eagle. Similarly large numbers of wading birds such as storks and ibises feed in shallow swampy fringes of the lake.

Elephants were occasionally seen wading to the islands and feeding on the aquatic vegetation. Sitatunga were thought to occur in the swamps

to the north of the lake and it is not impossible that shoe-billed storks did also. Reed buck, water buck and buffalo were very common on the west and SW shores of the lake which were included in the Ruwenzori (formerly Queen Elizabeth) National Park.

11. Human activities and management

The area in which L. George lies is sparsely populated but the catchment area does include the town of Kasese at the terminus of the railway from Kampala, and the mining community of Kilembe which mines copper on the flanks of the Ruwenzori.

When the National Park was gazetted (in 1952) a number of fishing villages such as Kasenyi (see Fig. 6.16) were allowed to remain on the shores of L. George and were excised from the Park area. During the 1960s the populations of these villages increased due to the arrival of refugees from Rwanda and Zaire. The present status of these communities is not known.

Outside the Park boundaries the main fishing villages on L. George are Kashka, Mayhoro and Kayinja. Powered launches ferry passengers across the lake from Kasenyi to Mayhoro from where ancient routes climb the escarpment and communicate with the rest of Uganda.

Modern communications are primarily maintained via the main N - S road from Mbarara to Fort Portal which runs across the Park about 16km from the west shore of L. George. A side road runs down to the lake at Kasenyi. The railway crosses the swamp north of the lake and its embankment has raised the level of the water on the north side. This has produced areas of open water with clumps of Cladium and some Nymphaea (Lock 1973). There is an airport at Kasese and an air-strip at Kasenyi.

At Kasenyi the Uganda Fish Marketing Corporation (TUFMAC) set up a buying and processing (filleting plus freezing and drying plus salting) plant which operated for at least twenty years (1952 - 72). Frozen fish were carried out by road to Kampala and to Kenya. Dried-salted fish was exported to Zaire as well as sold locally within Uganda. This operation ceased in 1973 but fishing continued and fish were sold directly to merchants with lorries who carried them to the cities. The current status of the fishery is not known but the history of its active period has been discussed by Dunn (1973) and its effect on the fish populations by Gwahaba (1973).

The proximity of the copper mine at Kilembe and the fact that rivers flowing through the mining area flow into the L. George swamps have prompted investigations of the copper concentration in the lake waters. Bugenyi (1979) measured the copper concentration of the waters of the Nyawamba River, Lake George, the Kazinga Channel and Lake Edward during the period from March 1976 - May/June 1977. Values ranged from 0.12 - 0.15 ppm in the river, 0.08 - 0.11 in Lake George, 0.05 - 0.08 in the Kazinga Channel.

6.4.b. OTHER SHALLOW LAKES IN THE WESTERN RIFT

Crater lakes

Immediately south of the Ruwenzori Mountains there are a number of explosion craters many of which contain lakes. According to Melack (1978) this area contains a total of 89 crater lakes in four groups. Some of those on the eastern escarpment eg L. Nkugute (Beadle 1966) are rather deep but many of those on the floor of the Rift Valley between Lakes George and Edward are shallow and more or less saline. Melack (1978) surveyed sixteen and those less than 10m deep are listed below with his estimates of their depth, area and conductivity.

	depth m	Conductivity $\times 10^{-6}$ S/cm	Area ha
L. Saka	8.5	c530	1.1
L. Kifuruka	c4.0	c280	15.0
L. Nyamusingire	4.9	c900	440
L. Kikorongo	8.5	c16,500	103
L. Mahega	4.1	c112,200	16
L. Bunyampaka	0.25	80,000	43
L. Katwe	0.33	116,000- 166,000	245

In L. Katwe sodium chloride is dominant and the lake has long been the centre of trade in salt which is evaporated in pans along the shore. The salt has a distinctive pink colour. In the other lakes carbonates are predominant and some of them (eg L. Mahega which is often orange) are richly coloured by their bacterial flora.

Lake Mulehe**1. Geography and Morphology**

South of Lake Edward the Rift Valley is blocked by the Virunga (or Mfumbiro) Volcanoes whose peaks rise to heights of more than 4000m and whose lava flows form steep sided valleys many of which are intensively cultivated using terraces. Papyrus swamps fill many of the valley bottoms which drain ultimately into either Lake Bunyoni or Lake Mutanda. These are both large deep lakes but the much smaller (area c5km²) Lake Mulehe has a maximum depth of only c7.5m.

2. Physico-chemical conditions

Since it lies at an altitude of 1750m asl it is relatively cool (c20°C in the euphotic zone) but only spot measurements are available. Similarly sparse data on the water chemistry indicates a conductivity of about 260×10^{-6} S/cm and pH ranging from 7.4-8.0 (Talling and Talling 1965). The lake is cut off from Lake Mutanda by a lava flow from the South. It discharges to L. Mutanda via a papyrus swamp in the south-west and except here it is closely hemmed in by high hills.

Major ions: (from three visits in 1960-61, Talling and Talling 1965)

Na 10.8; K 9.6; Ca 20.8-21.7; Mg 13-13.8; mg.l⁻¹

HCO₃+CO₃ 2.10-2.18 meq. l⁻¹;

Cl 12.0-14.2; SO₄ 21-27; SiO₂ 19.5-34; mg.l⁻¹

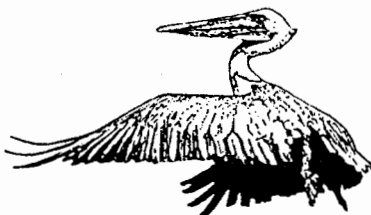
NO₃-N 22; PO₄-P 220-228; total P 240-272; 10⁻⁶g/l

3. Macrophytes and phytoplankton

When Talling visited the lake in 1961 he reported that it contained large areas of water weed (probably Ceratophyllum sp) and that the water column was well mixed at 19.7°C. The phytoplankton consisted largely of Melosira granulata (about 170 cells/ml) with Synedra sp, Oscillatoria sp. Coelastrum reticulatum and an unidentified cryptomonad were also abundant. At 1355h the incoming radiation was 279 kerg/cm²/sec and maximum photosynthesis (121 mgO₂/m³.h) occurred at 0.5m. The 1% level was at 3.5m and integral photosynthesis was estimated to be 240 mg/m².h or 2.3 gO₂/m².day.

4. Invertebrates

Green (1976) sampled the zooplankton of the lake in October 1962 and found a total of 509-755 x 10³/m² animals at a density of 105 x10³. Monia dubia, Ceriodaphnia reticulata, cyclopoids and nauplii were most abundant among the Crustacea while the six species of rotifer were dominated by Syncheata pectinata which comprised 72% of their population. Brachionus spp were also abundant. The phantom midge larva Chaoborus anomalus was also present in his samples.



BASSIN DU ZAIRE

Coordinateur

ZAIRE BASIN

Co-ordinator

Pierre COMPERE
Jean-Jacques SYMOENS

INTRODUCTION

La région considérée correspond au bassin du fleuve Zaïre (= Congo) à l'exception des lacs orientaux profonds (Kivu et Tanganyika) et de leur bassin (fig. 7.1).

Huit lacs peu profonds et zones inondées y ont été retenus :

- 7.1. Lac Bangweolo (Bangweulu) et zones humides associées;
- 7.2. Lac Mweru Wantipa et zones humides associées;
- 7.3. Lac Moero (Mweru) et zones humides du bas Luapula;
- 7.4. Lac Upemba et zones humides de la dépression du Kamolondo;
- 7.5. Forêts marécageuses et périodiquement inondées de la Cuvette zaïroise : partie W de la Cuvette entre 16° et 20° E et 2°30' N et 2° S (60% de cette zone sont inondés au moins périodiquement); deux lacs compris dans cette zone sont traités séparément sub 7.6 et 7.7;
- 7.6. Lac Tumba;
- 7.7. Lac Mai Ndombe (ex Léopold II);
- 7.8. Pool Malebo (ex Stanley Pool) et zones humides associées.

N'ont pas été retenus les marais associés aux lacs de barrage comme le lac de Mwadingusha sur la Lufira, ainsi que des zones humides de faible étendue comme les lacs Ishiba Ngandu, Lungwe, Fwa, etc., l'étang de Kibambi ou les dembos du Shaba.

Les autres bassins atlantiques (Sanaga, Ogoué, Nyanga, Kouilou, etc.) ne comportant pas de zones humides étendues, n'ont pas été traités.

Dans l'enclave angolaise de Cabinda, voisine de l'embouchure du Zaïre, où la pluviosité annuelle moyenne est de l'ordre de 1800 mm, les collines généralement boisées font partie du bassin du Chiloango; le long de son cours inférieur lent existent des marais permanents et quelques lacs dont le principal est le lac Masabe. En raison de leur étendue relativement limitée et de la pauvreté des données à leur sujet, ils ont également été omis de ce Répertoire.

La préparation et l'illustration de la présente section ont bénéficié de l'appui financier du Fonds de la Recherche fondamentale collective (contrat no. 2.0033.82). Le prof. Malu wa Kalenga et MM. J.-P. Gosse, A. Prigogine et J. Verschusen ont fourni aux auteurs des renseignements précieux.

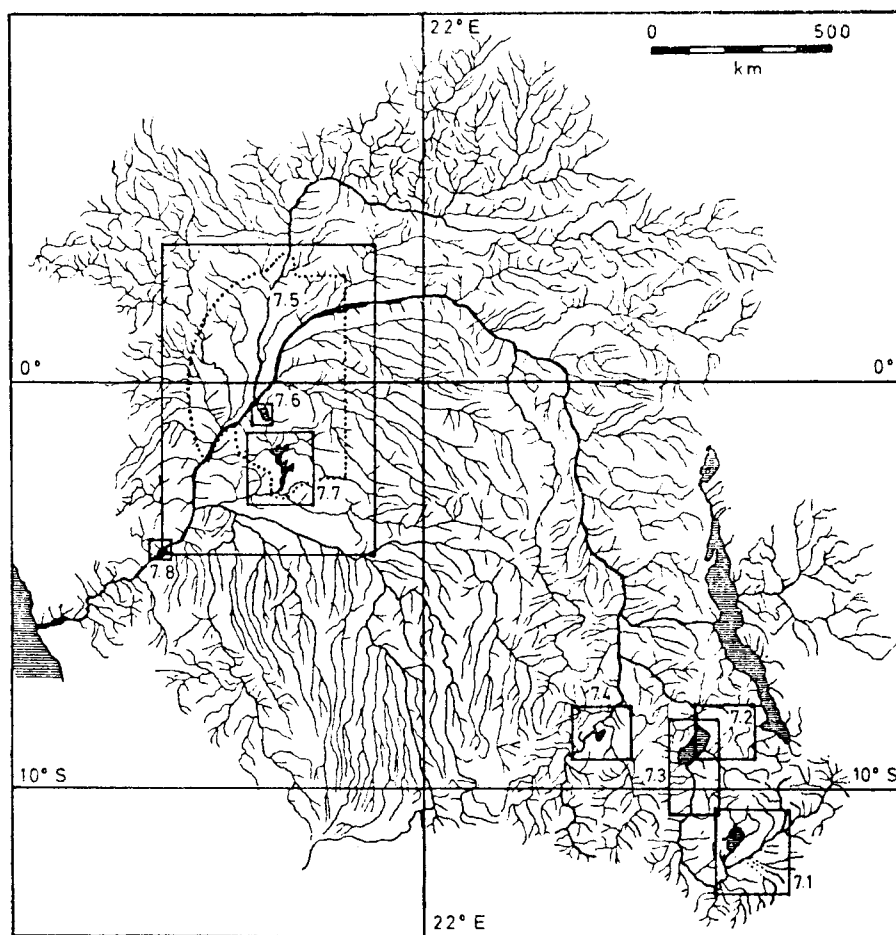


Fig. 7.1. Le bassin hydrographique du Zaïre (Congo) - situation des systèmes traités. 7.1. Lac Bangweolo et zones humides associées (v. fig. 7.3); 7.2. Lac Mweru Wantipa et zones humides associées (v. fig. 7.4); 7.3. Lac Moero et zones humides du bas Luapula (v. fig. 7.5); 7.4. Lac Upemba et zones humides de la dépression du Kamolondo (v. fig. 7.6); 7.5. Forêts marécageuses et périodiquement inondées de la Cuvette zaïroise (v. fig. 7.7); 7.6. Lac Tumba (v. fig. 7.8); 7.7. Lac Mai Ndombe (v. fig. 7.9); 7.8. Pool Malebo (v. fig. 7.10).

The drainage basin of the Zaire (Congo) River - location of the systems treated. 7.1. Lake Bangweulu and associated wetlands (see Fig. 7.3); 7.2. Lake Mweru Wantipa and associated wetlands (see Fig. 7.4); 7.3. Lake Mweru and the wetlands of the lower Luapula (see Fig. 7.5); 7.4. Lake Upemba and the wetlands of the Kamolondo Depression (see Fig. 7.6); 7.5. Periodically inundated and swamp forests of the Zaire Depression (see Fig. 7.7); 7.6. Lake Tumba (see Fig. 7.8); 7.7. Lake Mai Ndombe (see Fig. 7.9); 7.8. Malebo Pool (see Fig. 7.10).

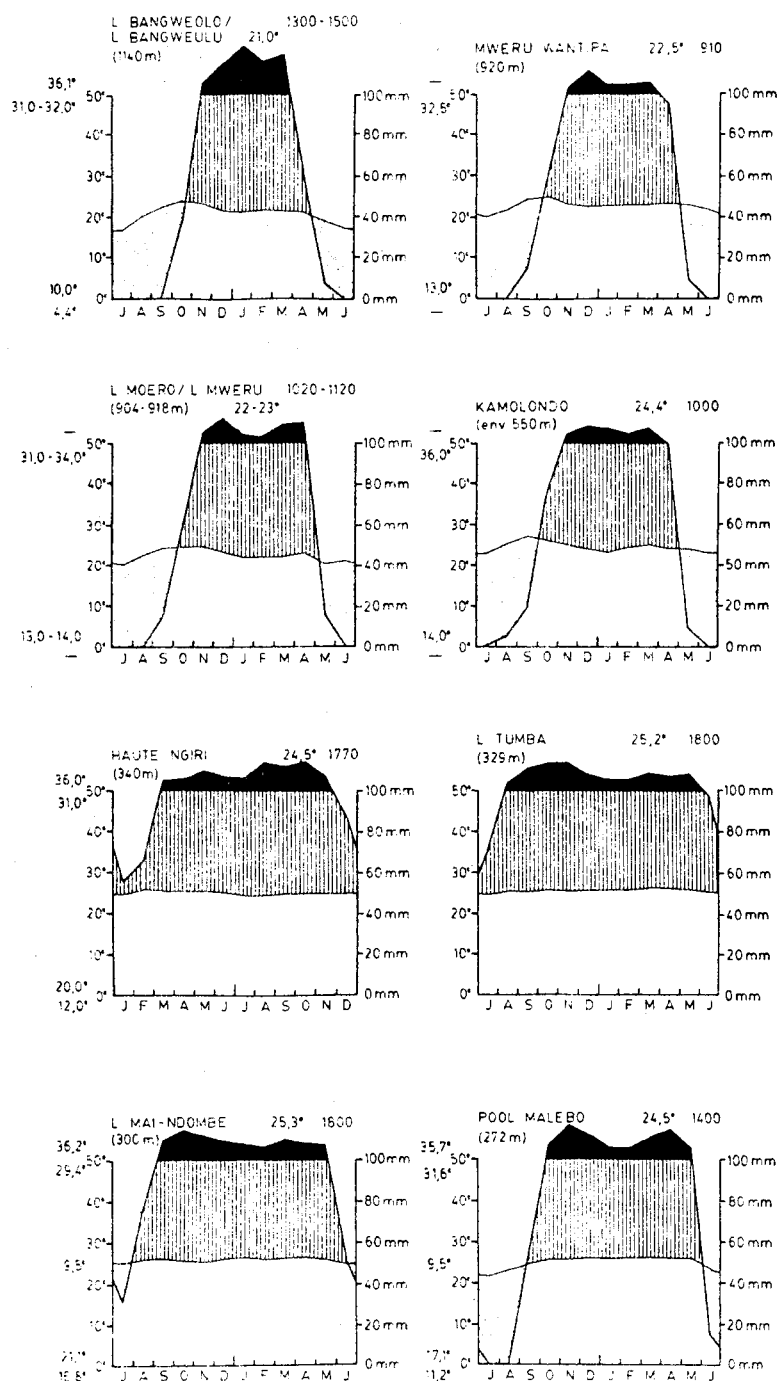


Fig. 7.2. Diagrammes climatiques représentatifs des huit territoires traités dans la Région 7.
Climatic diagrams of the eight localities treated under region 7.

7.1. LAC BANGWEOLO ET ZONES HUMIDES ASSOCIEES/ LAKE BANGWEULU AND ASSOCIATED WETLANDS

1. Géographie et morphologie (fig. 7.3)

Situation : Zambie, Northern Province et Luapula Province.

Le Bangweolo (Bangweulu) est un grand lac naturel; le nom est appliqué au lac principal, ses annexes étant le Walilupe à l'E, le Chifunauli à l'W; un peu plus au S se situent les lacs Kampolombo et Kangwena. Le Bangweolo et ses lacs annexes sont situés entre 10°50' et 11°50' S et 29°30' et 30°05' E. A l'E et au SE du Bangweolo s'étendent des marais étendus, les "Bangweulu Swamps", et au SE de ceux-ci une vaste plaine inondable.

Altitude: 1140 m.

Surface totale du bassin versant: env. 105 000 km²: 109 469 km² (Toews 1975), 101 494 km² (Balek 1977).

Principales données morphométriques: (Toews 1975)

	Surface (km ²)	Profondeur moy. (m)	Profondeur max. (m)	Volume (10 ⁹ m ³)
Bangweolo (proprement dit)	1 721	4,7*	10,4*	8 707
Walilupe	585	3,3*	5,4*	2 091
Chifunauli	225	2	3	450
Kampolombo	155	2	3	310
Kangwena	47	1,5	2	71

* Par rapport au niveau moyen des hautes eaux

Le lac Bangweolo et les lacs-annexes cités ci-dessus couvrent une surface de 2 733 km²; l'ensemble des lacs, des marais et des plaines inondables env. 15 000 km².

Le lac Bangweolo a 73 km de longueur et 41 km de largeur maximum. Il a trois îles habitées: celles de Chishi, Mbabala et Chilubi. La longueur des berges est de l'ordre de 490 km (Welcomme 1972).

Paysages: Les rives sont généralement peu élevées, parfois sableuses, souvent marécageuses. A l'E et au SE du lac s'étendent les "Bangweulu Swamps", vastes marais à Papyrus et à Vossia, piquetés de "lagoons" plus ou moins étendus (Chibula Mushitu, Chali, etc.) et coupés de nombreux chenaux, dont certains aménagés pour la circulation des bateaux. Au SE des "Bangweulu Swamps" s'étend une vaste plaine herbeuse inondable.

2. Géologie

Le bassin du Bangweolo repose sur un craton précambrien affecté de mouvements tectoniques sur ses bords W, S et E. Les parties W, N et NE

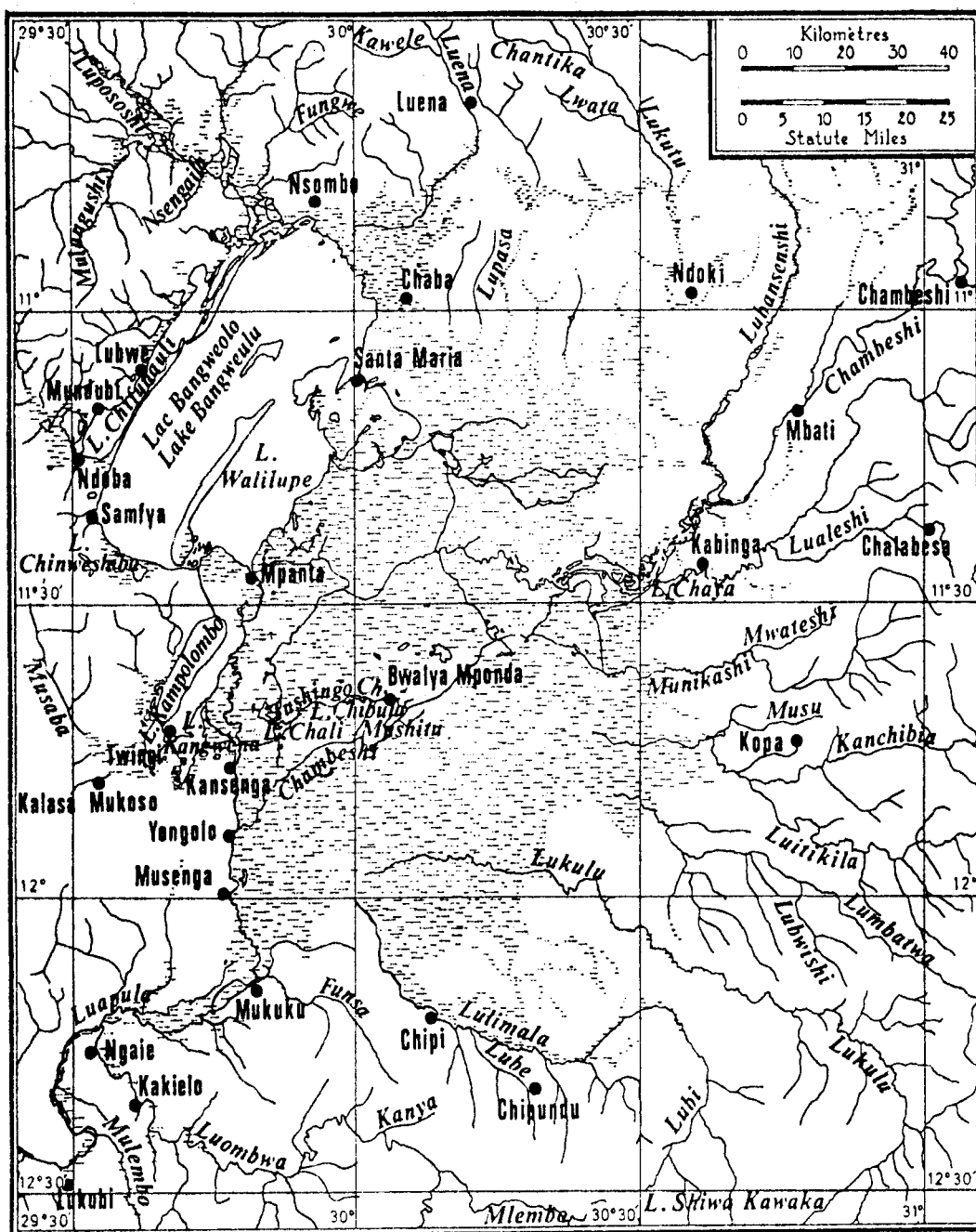


Fig. 7.3. Carte du lac Bangweolo et des zones humides associées.
Map of Lake Bangweulu and associated wetlands.

du bassin sont principalement formées de roches éruptives granitiques; à l'E du Chambeshi se trouvent des roches sédimentaires du Système du Kundelungu : schistes et grès. Au SE, des alluvions récentes forment le fond des "Bangweulu Swamps" et de la plaine inondable. La majorité des roches et des sédiments du bassin sont acides, pauvres en éléments solubles.

3. Climatologie générale (principalement d'après Bultot 1971-77)

Climat: Cwa (Köppen)

3 saisons principales:

saison sèche froide (avril à août);

saison sèche chaude (août à octobre);

saison pluvieuse chaude (novembre à avril).

Insolation:

Moy. ann.: env. 3 000 h. année⁻¹;

Max. en juillet (Env. 300 h), min. en janvier (env. 125 h).

Rayonnement solaire global incident:

Moy. ann.: 180 kcal.cm⁻². année⁻¹, soit $20,6 \cdot 10^6$ J.m⁻².d⁻¹.

Bilan du rayonnement terrestre:

Moy. ann.: 55 kcal.cm⁻².année⁻¹, soit $6,2 \cdot 10^6$ J.m⁻².d⁻¹

Max. en juillet (bilan journ. moy.: $9,0-9,2 \cdot 10^6$ J.m⁻².d⁻¹)

Min. en janvier (bilan journ. moy.: env. $4,2 \cdot 10^6$ J.m⁻².d⁻¹)

Bilan du rayonnement total:

Moy. ann.: 81 kcal.cm⁻².année⁻¹, soit $9,3 \cdot 10^6$ J.m⁻².d⁻¹

Max. en janvier et mars (bilan journ. moy.: $10,9 \cdot 10^6$ J.m⁻².d⁻¹)

Min. en juillet (bilan journ. moy.: $5,4-5,9 \cdot 10^6$ J.m⁻².d⁻¹)

Pluviométrie: (fig. 7.2)

Moy. ann.: 1300-1500 mm; Balek (1977) mentionne une pluviosité moy.

ann. de 1229 mm pour l'ensemble du bassin;

Max. en janvier (env. 300 mm) et mars (250-275 mm).

Durée moy. de la saison sèche: 190 jours.

Evaporation:

Evapotranspiration potentielle gazon: moy. ann. 1150 mm

Evapotranspiration réelle gazon: moy. ann. 850 mm

Evaporation estimée du lac Bangweolo: moy. ann. 1642 mm (Bultot 1971); pour la période 1957-64, Balek (1977) mentionne des hauteurs d'évaporation d'une surface d'eau libre dans les Bangweulu Swamps: 2340 mm

Indice radiationnel d'aridité de Budyko: env. 1,10

Température de l'air (fig. 7.2):

Moy. ann.: 21°;

Max. en octobre (moy. vraie env. 24°, moy. max. journ. 31-32°, moy. min. journ. 16-17°); maximum absolu observé à Samfya 36,1°;

Min. en juillet (moy. vraie 16,5-17°, moy. max. journ. 23°, moy. min. journ. 10°); minimum absolu observé à Samfya 4,4°.

4. Hydrographie - Hydrologie

Le Bangweolo est principalement alimenté au N par la Luena et la Lupososhi, à l'W par la Litandashi. La région des marais reçoit les eaux du Chambeshi (bassin versant: 32 019 km²) qui se répartissent entre de nombreux chenaux (Tushingo Channel, Goodall Channel, etc.); certains atteignent le Walilupe, d'autres se déversent directement dans le Luapula, principalement aux environs de Kansenga (près de Twingi) et Kataba. Il a été suggéré, sur base d'anciennes cartes, que le Chambeshi n'aurait eu jadis qu'une embouchure unique dans le SE du lac (De Bont 1960).

Au Bangweolo, les eaux sont hautes de mars à juin, basses de septembre à janvier.

Le bassin du Bangweolo est exoréique. L'écoulement se fait par le Luapula qui, de Mpanta, se dirige vers le S jusqu'à Mukuku, avant de décrire une boucle vers l'W et de remonter vers le N pour déboucher dans le lac Moero. Débit moyen annuel du Luapula à la sortie des "Bangweulu Swamps": 441 m³.s⁻¹ (Balek 1977).

5. Caractéristiques physico-chimiques des eaux

Température: Au lac Bangweolo et dans ses dépendances, nous avons mesuré pour l'eau de surface 24,3-27,2° en décembre, 21,3-22,1° en juin. Des températures de 18° sont signalées (Mortimer 1965).

Transparence: Lac Bangweolo: 0,73-0,92 m (décembre); lac Chifunauli : 0,42-0,45 m (décembre); lac Walilupe: 0,73 m (décembre).

pH (Symoens 1968): Dans le Bangweolo et ses dépendances: 6,9-7,3 (occasionnellement jusque 8,3); dans la région du détroit de Mayaba, entourée de marais à Papyrus: 6,5-6,9; dans les biomes marécageux: 5,9-6,5.

Conductance spécifique (Symoens 1968): Dans le Bangweolo et ses dépendances: 19,5-32.10⁻⁶ S.cm⁻¹; dans les marais: 15-120.10⁻⁶ S.cm⁻¹

Résidu sec: 39,2-69 mg.l⁻¹ (Symoens 1968).

Alcalinité: 0,21-0,24 méq.l⁻¹ (Symoens 1968).

Substances dissoutes: Lac Bangweolo, devant Samfya, juin 1960 (Symoens 1968)

Ca	1,57	mg.l ⁻¹	HCO ₃	14,28	mg.l ⁻¹
Mg	0,67	mg.l ⁻¹	CO ₃	0,00	
Na	2,50	mg.l ⁻¹	SO ₄	0,57	mg.l ⁻¹
K	1,10	mg.l ⁻¹	Cl	0,70	mg.l ⁻¹
SiO ₂	16,00	mg.l ⁻¹			

V. aussi Ricardo 1939; Bowmaker 1964; Talling & Talling 1965; Toews 1975.

Oxygène: L'eau des lacs principaux est bien oxygénée. L'eau des marais est pauvre en oxygène, surtout aux basses eaux (le taux de saturation en O₂ peut y descendre à 5%). L'apport d'eau de rivière bien oxygénée en période de crue "rince" les marais et favorise alors la dispersion des poissons dans les marais et jusque dans les plaines inondables.

6. Macrophytes

Parmi les hydrophytes du lac et des "lagoons": Ceratophyllum demersum, Potamogeton spp., Najas horrida, Nymphaea lotus et N. capensis, Brasenia schreberi, Ottelia ulvifolia et O. muricata, Utricularia div. spp., Rotala cordipetala, etc.

Près des rives sableuses, on reconnaît généralement une zone de végétation ouverte à Eleocharis dulcis et une zone à Phragmites mauritanus; le fourré à Kotschyia africana est inondé aux hautes eaux. Sur les "dunes" sableuses à l'W du lac: fourré à Diospyros batocana et Haplocoelum foliolosum; sa dégradation conduit à un groupement plus ouvert, où D. batocana est accompagné d'Hymenocardia acida et Euphorbia matabelensis.

Dans les baies marécageuses et surtout le long des rives N, E et S, ainsi que dans les Bangweulu Swamps, domine la papyraie à Cyperus papyrus et Thelypteris totta, avec Limnophyton angolense, Polygonum cf. pulchrum, Ludwigia leptocarpa, Oldenlandia sp. A mentionner aussi des prairies aquatiques à Vossia cuspidata, accompagné de Digitaria abyssinica, et à Oryza barthii, ainsi qu'un groupement à Thalia welwitschii, accompagné de Limnophyton angolense et Adenostemma cafferum. Comme espèces ligneuses: Ficus verruculosa ("Chitawatawa") et Aeschynomene elaphroxylon ("Mashila").

A l'embouchure des rivières dans le lac: forêts-galeries + marécageuses à Syzygium cordatum, Mitragyna stipulosa, Ficus congensis, avec en sous-bois Leersia hexandra, Panicum brevifolium et diverses fougères: Lygodium microphyllum, Histiopteris incisa, Microlepis speluncae, Thelypteris confluens, T. striata.

7. Phytoplankton et production primaire (Thomasson 1957, 1960; Toews 1975; Biswas 1982).

Le phytoplankton est à dominance de Cyanophytes (60-95% en nombre; env. 80% en volume), principalement de Lyngbya (L. contorta et L. limnetica) et de Microcystis (surtout M. flos-aquae); des fleurs d'eau

à Cyanophytes apparaissent en octobre. Parmi les Chlorophytes, Staurastrum gracile et S. excavatum var. planctonicum prédominent; les Desmidiées sont très diverses; à noter également les filaments des Zygnemales.

La production primaire brute journalière du Bangweolo varie de 394 mg C.m⁻².d⁻¹ (juillet) à 724 mg C.m⁻².d⁻¹ (novembre): ces valeurs, relativement faibles sont attribuées à l'action limitante de N et P. Des maxima horaires par unité de volume de 15 mg C.m⁻³.h⁻¹ ont été observés en janvier; en général, il y a une nette inhibition en surface. La respiration par unité de volume varie de 2,92 à 8,66 mg C.m⁻³.h⁻¹.

Au Chifunauli, la production primaire est plus élevée: elle atteint 1068 mg C.m⁻².d⁻¹ et un maximum horaire par unité de volume de 47,77 mg C.m⁻³.h⁻¹.

Dans le riche périphyton des Bangweulu Swamps, 92 taxons de Bacillariophycées reconnus, dont 17 Eunotia; 3 endémiques: Achnanthes pseudogrimmei, Pinnularia symoensii, Surirella symoensii (Cholnoky 1970).

8. Invertébrés

Zooplankton

Rotifères: environ 85 espèces, dont 20 typiquement planctoniques, sont signalées du lac Bangweolo et de ses marais (v. principalement De Ridder 1981).

Copépodes libres: 4 espèces du lac Bangweolo et des lacs-annexes, dont un endémique du bassin du Bangweolo - Luapula - Moero: Tropodiatomus symoensi (Einsle 1971).

Cladocères: 7 espèces trouvées dans le plancton du Bangweolo (incl. Walilupe et Chifunauli); env. 35 (dont bon nombre non typiquement planctoniques) dans le plancton des lacs Kampilombo, Kangwena et Chibula Mushitu (v. Korinek 1984).

Invertébrés benthiques

Les Oligochètes dominant (env. 50 mg.m⁻²), suivis des Chironomides (de 7,5 à 13,5 mg.m⁻²), ceux-ci représentés par Tanytarsus, Procladus et Chironomus. Les Culicides sont représentés par Chaoborus. La biomasse des invertébrés benthiques (mollusques non compris) serait de l'ordre de 60 mg.m⁻² (Toews 1975).

La faune malacologique du Bangweolo est peu diversifiée et pauvre en endémiques: 7 espèces de Gastéropodes (pas d'endémique), 8 de Bivalves (dont 1 subsp. endémique Mutela hargerii schomburgki). Le Bangweolo héberge Lymnaea natalensis, hôte intermédiaire de la douve du foie Fasciola gigantica, et Bulinus africanus et B. globosus, vecteurs de Schistosoma haematobium et S. capense; Biomphalaria pfeifferi, vecteur de Schistosoma mansoni est connu du bassin du Bangweolo (Mandahl-Barth 1968).

A signaler encore: la sangsue Placobdella jaegerskioeldi trouvée sur des crocodiles.

9. Poissons

La faune piscicole du Bangweolo comporte 86 espèces (Mortimer 1965). Parmi les planctonophages: le Sarotherodon macrochir ("Nkamba", green-headed Bream) est une des espèces dominantes; à citer aussi Engraulicypris moeruensis et les jeunes Alestes macrophthalmus ("Lumanse"). Sur le fond se nourrissent les mormyrides, Synodontis, Tylochromis et les jeunes Haplochromis. Parmi les prédateurs: Hydrocynus vittatus ("Manda", Poisson-Tigre, Tiger-Fish), les Serranochromis, et surtout Clarias mossambicus ("Muta", Poisson-Chat, Barbel); les adultes d'Alestes macrophthalmus, relativement omnivores, consomment abondamment Engraulicypris, les Barbus et divers Cichlides (Bowmaker 1969). Dans les marais prédominent le Clarias bien adapté à la respiration aérienne, des Mormyrides, Cichlides et plusieurs Barbus de petite taille ("Mimbulwe").

10. Autres vertébrés

Reptiles: A signaler principalement l'importante population de Crocodylus niloticus, se nourrissant largement de tilapias et, dans une proportion appréciable, du gastéropode Lanistes ovum; la ponte des oeufs a lieu à la fin d'août et pendant la première quinzaine de septembre, l'éclosion des jeunes en novembre (Cott 1961).

Oiseaux (v. principalement Brelsford 1947, Benson & White 1957)

Riche avifaune aquatique dont plusieurs espèces remarquables: Balaeniceps rex (Bec-en-Sabot, Shoebill), Pelecanus rufescens (Pélican gris, Pinck-backed Pelican), Nycticorax nycticorax (Héron bihoreau, Night-Heron), Podiceps ruficollis (Grèbe castagneux, Little Grebe), Botaurus stellaris (Butor étoilé, Bittern), Bostrychia hagedash (Madada), Thalassornis leuconotus (Erismature à dos blanc, White-backed Duck), Netta erythrophthalma (Nette brune, African Pochard), Anas undulata (Canard à bec jaune, Yellow-billed Duck), Sarkidiornis melanotos (Oie tuberculée, Knob-billed Goose), Plectropterus gambensis (Oie éperonnée, Spur-winged Goose) Rallus coerulescens (Râle bleuâtre, African Water-Rail), Limnocorax flavirostra (Râle noir, black Crane), Fulica cristata (Foulque à crête, Red-knobbed Coot), Actophilornis africana (Jacana), Grus carunculatus (Grue caronculée, Wattled Crane), Larus cirrocephalus (Mouette à tête grise, Grey-headed Gull), Ceryle rudis (Pied Kingfisher), Corythornis cristata (Martin-pêcheur huppé, Malachite-Kingfisher), Halcyon chelicuti (Martin-chasseur strié, striped Kingfisher), etc.

Avifaune aquatique très semblable à celle des Kafue Flats (coefficient de similitude 84%), de la région Chobe-Ngami-Okavango 82%), du Moero et du lac Malawi (81%), du lac de barrage de la haute Lufira (80%), de la plaine Barotse et de l'Upemba (75%), de St Lucia et du lac Edouard (71%) et du lac Victoria (69%).

Benson (1963) a étudié le rythme de reproduction des oiseaux. Parmi les espèces se reproduisant toute l'année, le meilleur exemple est Actophilornis africana ("Katanta", Jacana). Pour beaucoup d'espèces, l'optimum est en saison des pluies et au début de la saison sèche, lorsque les hautes eaux étendent l'habitat aquatique.

Mammifères: Hippopotamus amphibius ("Mfubu", Hippopotame) et Tragelaphus spekei selousi ("Nsobe", Sitatunga), ainsi que les loutres, Lutra maculicollis chobiensis ("Mbao", Spotted-necked Otter) et Aonyx capensis ("Mbao", Small-Clawed Otter), sont communs. Les anciens voyageurs signalaient dans la région du Bangweolo la présence de grands troupeaux de buffles, de zèbres, d'élands: cette faune a considérablement régressé. Dans les plaines inondables au SE des marais du Bangweolo vit l'antilope Kobus leche smithemani ("Inja", Lechwe noir, Black Lechwe), une des rares espèces à pouvoir exploiter ce territoire: le nombre des individus de cette espèce était estimé à 150 000 en 1932 et jusqu'en 1946, on pouvait encore en voir des troupeaux de 200; en 1950-1960, leur nombre était estimé à env. 16 000; sous la pression de la prédation et de la chasse, l'espèce tend à vivre de plus en plus dans les papyrus (v. Allen 1963, Grimsdell & Bell 1972, 1975). A signaler également dans la région: Kobus vardoni ("Nsebula", Cob de Vardon, Puku).

11. Activités humaines et aménagement

Populations: Mukulu et Ngumbo à l'W du Chifunauli; Kabende (une branche des Ushi) au SW, Bisa (île Chilubi), Ngumbo (îles Chishi et Mbabala), Unga (plaine inondable).

Agriculture: Culture selon le "Chipya System" et le "Swamp System". Le manioc est la principale plante vivrière; champs accessoires d'éleusine ("Fiseba"), surtout dans la plaine Unga. Vu la densité de population, les jachères sont souvent abrégées et on a signalé l'épuisement de certains sols (île Chilubi, presque île de Kapata).

Pêche: Le nombre de pêcheurs est estimé à 11 780; celui des bateaux à environ 4 350, dont 97% de pirogues (Inoue 1971, Welcomme 1972).

Populations se livrant à la pêche: Kabende, Ushi, Bisa, Unga, Lala.

Au Bangweolo, la pêche du Sarotherodon macrochir ("Nkamba") a représenté à certains moments plus de la moitié des captures, mais a connu aussi des chutes dramatiques; Serranochromis, Clarias, Gnathonemus, Alestes et Hydrocynus représentent aussi un pourcentage appréciable. Les captures montrent un pic saisonnier correspondant à la baisse des eaux, de juillet à novembre.

Les statistiques de pêche ont été publiées par le Gouvernement de la Rhodésie du Nord dans les Annual Reports du Game and Tsetse Control Department (jusqu'au rapport pour 1958), puis dans les Annual Reports, Game and Fisheries, du Ministry of Native Affairs, et les Annual Reports de la Joint Fisheries Research Organisation; et à partir de 1964, par le Gouvernement de la République de Zambie dans le Fisheries Research Bulletin et dans les Annual Reports, Game and Fisheries, du Ministry of Lands and Natural Resources, puis du Ministry of Natural Resources and Tourism.

La pêche au Bangweolo et dans ses marais représente une production annuelle d'environ 6 000 t (1960) à 9 000 t (1970), soit près du tiers de la production totale de la Zambie.

La commercialisation du poisson s'est longtemps faite de façon prépondérante par Kapalala (Brelsford 1946); au fil des années, elle s'est faite de façon croissante par la route de Samfya (et de son annexe, Mwamfuli) vers Mansa, anciennement Fort Rosebery (Fryer 1958). Cette production alimente essentiellement les villes du Copperbelt.

Transport: Pendant la guerre 1914-18, plus particulièrement à partir de janvier 1916, un transport de marchandises par pirogues fut organisé à travers les marais du Bangweolo pour assurer l'approvisionnement des troupes britanniques de Rhodésie et d'Afrique du Sud engagées contre les forces allemandes venues de l'Afrique orientale (Tanzanie actuelle). Un réseau de chenaux entretenu au travers des marais permet la circulation de pirogues et de bateaux à moteur assurant le transport du poisson et l'approvisionnement des populations des marais.

Conservation: Une partie étendue de la région du lac Bangweolo constitue le Bangweulu Game Management Area. La région NE des marais du Bangweolo, à l'W du Chambeshi, fut constituée en Game Reserve en 1957; elle forme à présent l'Isangano National Park, créé par le Statutory Instrument No. 44 du 25 février 1972. L'aire protégée est de 84 000 ha. Le Parc n'est accessible aux visiteurs qu'à pied ou en bateau. Aucun équipement n'existe pour l'accueil des touristes.

7.2. LAC MWERU WANTIPA ET ZONES HUMIDES ASSOCIEES/ LAKE MWERU WANTIPA AND ASSOCIATED WETLANDS

1. Géographie et morphologie (fig. 7.4)

Situation: Région marécageuse située dans le District de Mporokoso, Zambie, et atteignant la frontière zaïroise à Musosa, Région du Shaba. Deux lacs importants:

Le Mweru Wantipa proprement dit, 8°31'-8°45' S, 29°41'-29°55' E;

Le lac Cheshi (graphies non admises Chishi, Chisi) 8°55' S, 29°46' E.

Altitude: env. 920 m (nivellement zambien)

Surface de la région considérée: env. 2 000 km²

Surface des lacs: Mweru Wantipa: env. 250 km² (mais très variable suivant les conditions climatiques); Cheshi: env. 30 km².

Paysages: La région du Mweru Wantipa s'étend entre deux escarpements de direction générale SW-NE. C'est une région de lacs, de marécages et surtout de plaines inondables. Le lac Mweru Wantipa proprement dit a un niveau variable; du fait de sa faible profondeur ne dépassant pas 3 m, sa surface aussi est très variable. Il y a quelques îles dans le lac, dont l'île Katema. Une vaste plaine inondable s'étend au N, à l'W et au SW du lac. Surtout en période de sécheresse s'y formaient des essaims de *Nomadacris septemfasciata* (Criquet nomade, Red Locust), aujourd'hui efficacement combattus (v. Gunn 1955, Harroy 1985).

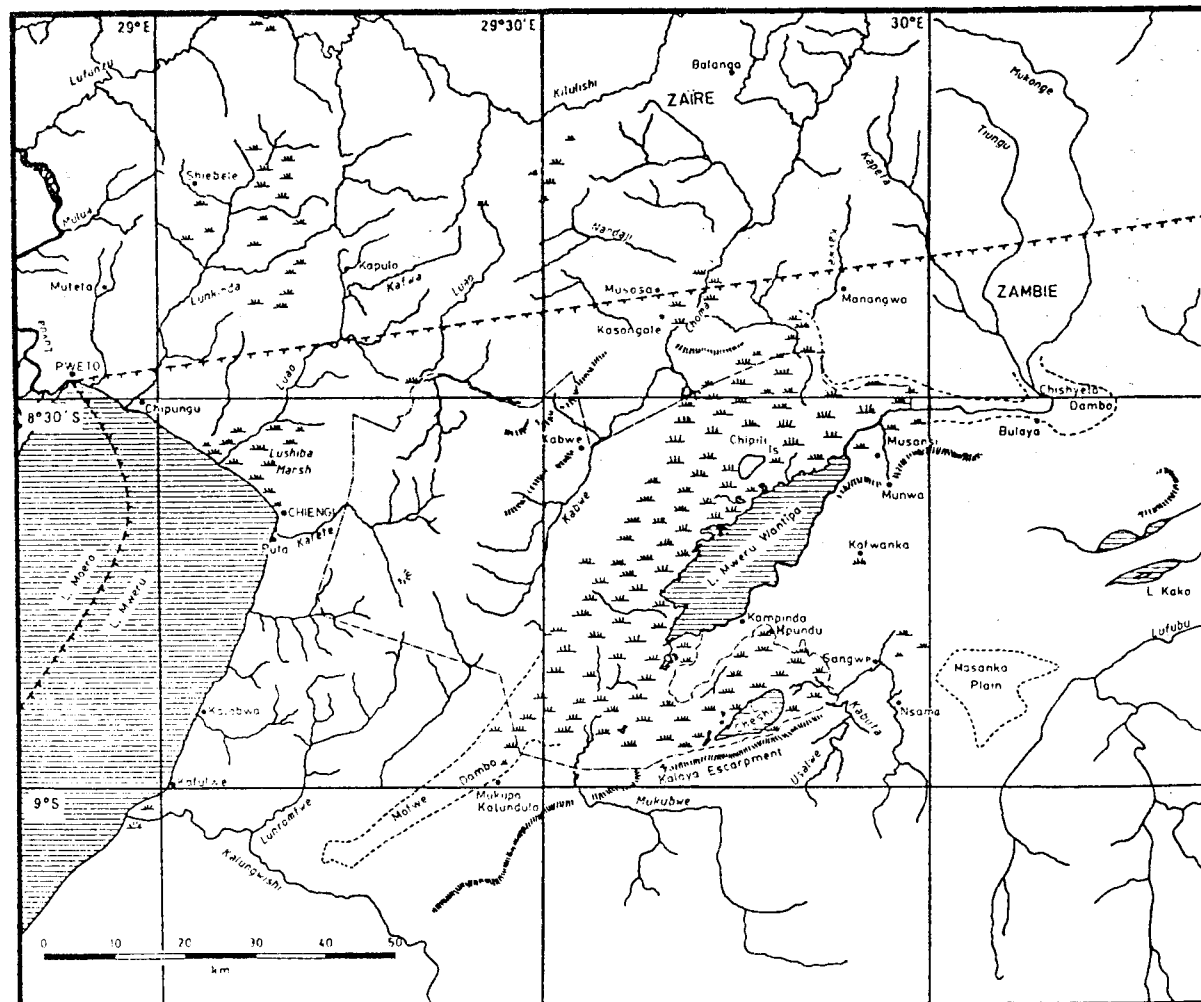


Fig. 7.4. Carte du lac Mweru Wantipa et des zones humides associées.
Map of Lake Mweru Wantipa and associated wetlands.

2. Géologie

La région est affectée de plusieurs failles nettes autour de la ligne des hautes eaux; à l'W du bassin, elle se relève progressivement en collines de granites et de porphyres fortement découpées.

3. Climatologie générale (principalement d'après Bultot 1971-77)

Climat: Awi (Köppen)

Insolation:

Moy. ann.: 2 600 h.année⁻¹.

Max. en juillet (env. 300 h), min. en décembre (env. 125 h).

Rayonnement solaire global incident:

Moy. ann.: 175 kcal.cm⁻².année⁻¹, soit 20.10^6 J.m⁻².d⁻¹

Bilan du rayonnement terrestre:

Moy. ann.: 51 kcal.cm⁻².année⁻¹, soit $5,8.10^6$ J.m⁻².d⁻¹

Max. en juillet (bilan journ. moy.: $8,4.10^6$ J.m⁻².d⁻¹)

Min. en janvier (bilan journ. moy.: env. $4,2.10^6$ J.m⁻².d⁻¹)

Bilan du rayonnement total:

Moy. ann.: 79 kcal.cm⁻².année⁻¹, soit $9,0.10^6$ J.m⁻².d⁻¹

Max. en janvier et mars (bilan journ. moy.: $10,2.10^6$ J.m⁻².d⁻¹)

Min. en juillet (bilan journ. moy.: $6,7.10^6$ J.m⁻².d⁻¹)

Pluviométrie: (fig. 7.2)

Moy. ann.: 910 mm;

Max. en décembre (env. 235 mm).

Durée moy. de la saison sèche: 175 jours.

Evaporation:

Evapotranspiration potentielle gazon: moy. ann. env. 1200 mm;

Evaporation réelle gazon: moy. ann. 950 mm.

Indice radiationnel d'aridité de Budyko: env. 1,45

Température de l'air (fig. 7.2):

Moy. ann.: 22,5°;

Max. en octobre (moy. vraie 24,5-25°, moy. max. journ. 32,5°; moy. min. journ. 18°);

Min. en juillet (moy. vraie 20°, moy. max. journ. 28°, moy. min. journ. 13°).

4. Hydrographie - Hydrologie

Enclavé dans le bassin du Zaïre, le Mweru Wantipa s'y comporte comme un bassin fermé.

Le niveau des eaux y est extrêmement dépendant des conditions climatiques. Les marais ont connu des périodes de dessèchement catastrophique (p. ex. 1912-19 et 1949-50), le lac principal pouvant même être pratiquement à sec. Un détournement des eaux de la Kalungwishi par le Mofwe Dambo permet de maintenir le niveau de l'eau du lac et de réduire la surface des plaines périodiquement asséchées.

Le lac Cheshi, à l'angle SE des marais, est alimenté par les rivières Kasenga et Mwambeshi. Son niveau se maintient à peu près constant.

5. Caractéristiques physico-chimiques des eaux

Surtout en période de basses eaux, la salinité atteint des valeurs exceptionnelles pour le bassin du Zaïre, en dehors des sources salines.

Un échantillon d'eau des marais du Mweru Wantipa (janvier 1955) a été analysé par Hough (in MacLaren 1956 et Soulsby 1960).

Couleur	brun	pâle	clair
pH	9,4		
Résidu sec	20 716	mg.l ⁻¹	
Ca	15	mg.l ⁻¹	
Na	8 000	mg.l ⁻¹	
K	400	mg.l ⁻¹	
Mg	non décelable		
CO ₃	5 200	mg.l ⁻¹	
Cl	4 500	mg.l ⁻¹	
SO ₄	2 502	mg.l ⁻¹	
SiO ₂	80	mg.l ⁻¹	

6. Macrophytes

Au lac et dans les marais dominant Cyperus papyrus et Phragmites. Sur terre ferme au voisinage du lac: fourrés à Bussea et Combretum.

7. Phytoplancton

Guère de donnée publiées.

8. Invertébrés

Encore insuffisamment étudiés. Cladocères: 8 espèces signalées des lacs Mweru Wantipa et Cheshi, dont 5 dans le plancton (Korinek 1984). La sangsue Placobdella jaegerskioeldi a été signalée sur Crocodylus niloticus (Cott 1961).

9. Poissons (V. Soulsby 1960)

La faune piscicole du Mweru Wantipa est très pauvre, probablement limitée par la salinité: seulement 5 espèces; au lac Cheshi, où les conditions de salinité sont moins inhospitalières: 12 espèces.

	Mweru Wantipa	Cheshi
<u>Sarotherodon macrochir</u> ("Mpale" ou "Pale")	+	+
<u>Tilapia rendalli</u> ("T. melanopleura", "Chituku")	-	+
<u>Sargochromis mellandi</u> ("Mbilia")	-	+
<u>Serranochromis angusticeps</u> ("Polwe")	-	+
<u>Hepsetus odoe</u> ("Mibombo")	-	+
<u>Labeo altivelis</u> (Mpumbu" ou "Pumbu")	+	+
<u>Gnathonemus montei</u> (Lusa")	-	+
<u>Clarias mossambicus</u> ("Mita")	+	+
<u>Heterobranchius boulengeri</u> ("Katondwa")	+	+
<u>Schilbe mystus</u> ("Lupata")	+	+
<u>Auchenoglanis occidentalis</u> ("Mbwa")	-	+
<u>Synodontis nigromaculatus</u> (= <u>S. melanostictus</u>)	-	+

10. Autres vertébrés

Reptiles: 47 espèces signalées de Musosa (Brédo 1935 ?). A mentionner en particulier: Pelomedusa subrufa subrufa, Pelusios subniger, Varanus exanthematicus angolensis. La population de Crocodylus niloticus est nombreuse, se nourrissant principalement de Clarias; la ponte des oeufs y a lieu pendant les trois premières semaines de septembre; C. cataphractus existe également au lac Mweru Wantipa.

Oiseaux: Nombreux oiseaux d'eau, dont: Anastomus lamelligerus (Bec-ouvert, Openbill), Ephippiorhynchus senegalensis (Jabiru, saddlebill), Balaeniceps rex (Chifumpafumpa", Bec-en-sabot, Shoebill), Ixobrychus minutus (Butor blongios, Little Bittern), Botaurus stellaris (Butor étoilé, Bittern), Plectropterus gambensis (Oie éperonnée, Spur-winged Goose), Motacilla capensis simplicissima (Bergeronnette du Cap, Cape Wagtail), Acrocephalus baeticatus (Rousserolle d'Afrique, African Reed-Warbler), etc. Le principal nicheur est Ardea goliath (Héron goliath, Goliath Heron). On a signalé au Mweru Wantipa 640 nids de Phoeniconaias minor (Petit Flamant, Lesser Flamingo). Pelecanus onocrotalus (Pélican blanc, White Pelican) ne se reproduit au Mweru Wantipa que lors des années très sèches, lorsque les eaux sont très basses et le poisson aisément capturable (Benson, 1956). A partir de la fin de la saison sèche, les migrateurs paléarctiques sont abondants, p. ex. Motacilla flava (Bergeronnette jaune, Yellow Wagtail), Riparia riparia ("Kamimbi", Hirondelle de rivage, Sand-Martin), etc.

Mammifères: Hippopotamus amphibius ("Mfubu", Hippopotame) et Tragelaphus spekei ("Nsobe", Sitatunga) fréquentent les lacs et marais. La région possède encore une faune remarquable, notamment Diceros bicornis ("Chipembele", Rhinocéros noir, Black Rhinoceros), Syncerus caffer ("Mbowa", Buffle, Buffalo), Equus burchelli ("Cholwa", Zèbre) et de nombreuses antilopes, dont Kobus vardonii ("Nsebula", Cob de Vardon, Puku). La population d'éléphants (Loxodonta africana kochi) du Mweru Wantipa était estimée à environ 1500 vers 1960.

11. Activités humaines et aménagement

Populations: d'ethnie Tabwa. Le District de Mporokoso comportait en 1969, 68 000 habitants. En réalité, la densité de la population est

plus faible dans la région du Mweru Wantipa. Il n'y a pas de localités importantes dans la région du Mweru Wantipa, seulement quelques camps de pêche.

Agriculture: Le fourré sempervirent de la région du Mweru Wantipa a été largement défriché en vue de la culture de céréales sur brûlis selon le "Northern Thicket System"; après deux récoltes de millet: manioc et arachide.

Production de sel dans quelques villages au NW du Mweru Wantipa.

Pêche: La faune piscicole est peu variée. Toutefois la pêche est prospère et porte surtout sur Sarotherodon macrochir ("Pale") et Clarias mossambicus ("Mita"); le premier représente plus de 9/10 des captures du lac Cheshi. Un même effort de pêche peut être 4,5 fois plus productif qu'au lac Moero et 10 fois plus qu'au Bangweolo (North. Rhod., Game and Tsetse Control Dept., report for 1953). Aussi la pêche du Sarotherodon au Mweru Wantipa attire-t-elle de nombreux pêcheurs lorsque la production baisse au Moero, mais à plusieurs reprises, des signes d'overfishing ont été notés (North. Rhod., Game and Tsetse Control Dept., report for 1956; Game and Fish., report for 1960; Joint Fish. Res. Org., report for 1961). Les camps de pêche sont ceux de Kampinda, Milose, Mukubwe, Kasongo et du lac Cheshi.

Les statistiques de pêche ont été publiées par le Gouvernement de la Rhodésie du Nord dans les Annual Reports du Game and Tsetse Control Department (jusqu'au rapport pour 1958), puis dans les Annual Reports, Game and Fisheries, du Ministry of Native Affairs, et les Annual Reports de la joint Fisheries Research Organisation; et à partir de 1964, par le Gouvernement de la République de Zambie dans le Fisheries Research Bulletin et dans les Annual Reports, Game and Fisheries, du Ministry of Lands and Natural Resources, puis du Ministry of Natural Resources and Tourism.

La production annuelle, de 4 090 short tons, soit 3 700 t métriques, en 1968, se serait appréciablement accrue: pour la période 1975-1982, les valeurs de production annuelle ont été de 7 878 à 16 765 t (FAO, données inédites). Une part importante est vendue sous forme de poisson frais. La production commercialisée est essentiellement destinée aux villes du Copperbelt.

Lutte antiacridienne: La plaine herbeuse inondable s'étendant au N, à l'W et au SW du lac Mweru Wantipa constituait une zone où, en période sèche, se formaient les essaims de Nomadacris septemfasciata; la lutte contre ceux-ci entreprise par l'International Red Locust Control Service a permis l'élimination de ce fléau agricole (v. Gunn 1955, et surtout Harroy 1985).

Conservation: La région du Mweru Wantipa était incluse dans une Game Reserve; celle-ci est devenue le Mweru Wantipa National Park, créé par le Statutory Instrument No 44 du 25 février 1972. L'aire protégée est de 313 400 ha. Elle comporte 3 zones: une zone mise en réserve intégrale accessible seulement au personnel qualifié; une zone accessible au public et à un nombre limité de résidents; une zone réservée pour la pêche commerciale. En raison de leur nombre jugé trop élevé, le "cropping" des crocodiles y a été effectué en 1980 et 1981.

Tourisme: Le tourisme est peu important, bien que le Mweru Wantipa National Park soit accessible de l'W et de l'E par une route carrossable et que des camps adéquats aient été aménagés en dehors du Parc.

7.3. LAC MOERO ET ZONES HUMIDES DU BAS LUAPULA/ LAKE MWERU AND WETLANDS OF THE LOWER LUAPULA

1. Géographie et morphologie (fig. 7.5)

Situation: Zambie, Kawambwa District, et Zaïre, Zone de Pweto. Le lac Moero (Mweru) est situé entre 8°29' et 9°31' S et 28°20' et 29°09' E. Il est alimenté principalement par le Luapula dont le cours inférieur, en aval des chutes Johnston (10°32' S, 28°39' E), se déroule dans la large plaine marécageuse du Kifakula. L'émissaire du lac est la Luvua qui débute à Pweto (8°28' S, 28°54' E).

Altitude: 918 m (nivellement zambien), 904 m (nivellement du Shaba)

Surface du bassin versant (à Pweto): 218 460 km² (Devroey 1951)

Principales données morphométriques: Le lac Moero a grosso modo la forme d'un rectangle, allongé en direction SW-NE, de 124 km de longueur maximum et d'environ 50 km de largeur maximum. Surface du lac Moero: 5000 km² (3000 km² soit 60% en territoire zambien; 2000 km², soit 40% en territoire zaïrois). La surface totale de 4580 km² mentionnée par Welcomme (1972) est fortement sous-estimée. Le lac comporte trois îles, celle de Kilwa (env. 46 km²) et celles, plus petites, de N'Kole et d'Isokwe. Le lac est peu profond (z moy. = 3 m, z_m = 9 m dans sa moitié S; z moy. = 10 m, z_m = 37 m dans sa moitié N).

Volume du lac: 36,6.10⁹ m³ (Welcomme 1972).

La longueur des berges est de l'ordre de 340 km (Welcomme 1972).

Paysages: Dans la plaine, en aval de Kasenga, s'étendent de part et d'autre du Luapula qui forme la frontière de la Zambie et du Zaïre, de petits lacs (Pembe Lagoon, Mofwe Lagoon, lacs Kuswa, Kitshomponshi, Kifukula, Kainsa Kinseneke, etc.), de vastes marais à Vossia ou à Papyrus, et, de place en place, de petits "bois" d'Aeschynomene elaphroxylon ("Mashila"). En période de hautes eaux, le Luapula déborde très largement. A N'Kole, le fleuve entre dans le lac Moero, le long d'une péninsule étroite et marécageuse. Le lac s'allonge en direction SW-NE: la rive W, de Mobanga jusqu'à l'extrémité N, est principalement formée par une falaise bien alignée, marquée d'échancrures peu profondes dans sa partie N, la rive E est aussi bordée de falaises, mais elles sont plus basses que celles de la côte W; la rive N descend assez doucement vers le lac et présente quelques plages sablonneuses.

2. Géologie

La zone formée par le bas Luapula et le lac Moero est un fossé tectonique se raccordant vers le S à une dépression normale d'érosion. Des failles s'observent de part et d'autre de la dépression au N du parallèle de 10° S. Ces failles prolongent même la dépression du lac vers le N, formant sur le bord E un escarpement quasi rectiligne marqué à son extrémité N par la source thermale du Chungu (Grosse 1918).

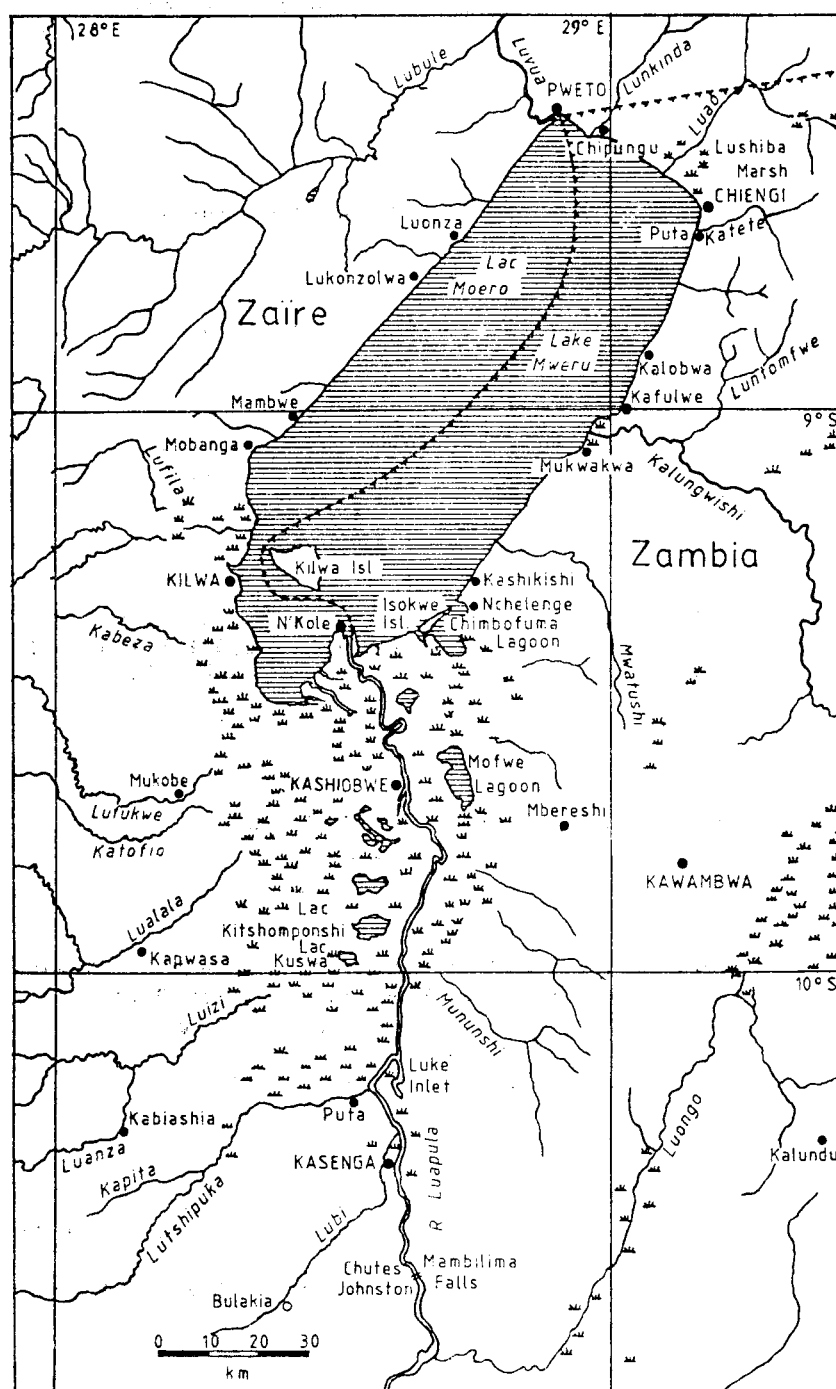


Fig. 7.5. Carte du lac Moero et des zones humides du bas Luapula.
Map of Lake Mweru and the wetlands of the Lower Luapula.

3. Climatologie générale (principalement d'après Bultot 1971-77)

Climat: Awi (Köppen)

Insolation:

Moy. ann.: 2600 h.année⁻¹;

Max. en juillet (env. 310 h), min. en décembre (env. 125 h).

Rayonnement solaire global incident:

Moy. ann.: 170 kcal.cm⁻².année⁻¹, soit $19,5 \cdot 10^6$ J.m⁻².d⁻¹.

Bilan du rayonnement terrestre:

Moy. ann.: 50 kcal.cm⁻².année⁻¹, soit $5,7 \cdot 10^6$ J.m⁻².d⁻¹

Max. en juillet (bilan journ. moy.: $9,2 \cdot 10^6$ J.m⁻².d⁻¹)

Min. en janvier (bilan journ. moy.: $4,2 \cdot 10^6$ J.m⁻².d⁻¹)

Bilan du rayonnement total:

Moy. ann.: 79 kcal.cm⁻².année⁻¹, soit $9,0 \cdot 10^6$ J.m⁻².d⁻¹

Max. en janvier et mars (bilan journ. moy.: $10,5 \cdot 10^6$ J.m⁻².d⁻¹)

Min. en juillet (bilan journ. moy.: $6,3 \cdot 10^6$ J.m⁻².d⁻¹)

Pluviométrie: (fig. 7.2)

Moy. ann.: 1020-1120 mm;

Max. en décembre (225 mm) et mars (env. 200 mm);

Durée moy. de la saison sèche: 170 jours.

Evaporation:

Evapotranspiration potentielle gazon: moy. ann. env. 1200 mm;

Evapotranspiration réelle gazon: moy. ann. env. 1000 mm;

Evaporation estimée du lac Moero: moy. ann. 1701 mm.

Indice radiationnel d'aridité de Budyko: 1,10-1,20.

Température de l'air: (fig. 7.2)

Moy. ann.: 22-23°;

Max. en octobre (moy. vraie 24-25°, moy. max. journ. 31-34°, moy. min. journ. 18-19°);

Min. en juillet (moy. vraie 20°, moy. max. journ. 28°, moy. min. journ. 13-14°).

4. Hydrographie - Hydrologie

Le Moero est alimenté par le Luapula, la Kalungwishi et de nombreuses rivières de moindre importance.

Les eaux du bas Luapula sont hautes de mars à mai, basses de septembre à janvier; la fluctuation annuelle du niveau est en moyenne de 3,9 m à Kasenga et 2 m à Kashiobwe et au maximum de 8 m à Kasenga et 5,8 m à Kashiobwe. Au lac Moero, les eaux sont hautes d'avril à juillet, basses

d'octobre à février; la fluctuation annuelle du niveau est de 1,5 m en moyenne, de 4,7 m au maximum (Devroey 1961). On aurait connu des années d'eaux si basses que les femmes pêchaient au panier dans toute la partie du lac Moero entre Kilwa et l'île de Kilwa (De Bont 1960).

Le bassin du Moero est exoréique. L'émissaire du lac Moero est la Luvua: elle sort du lac à Pweto et, après un cours d'environ 320 km, elle se jette dans le Lualaba (haut Zaïre) à Ankoro.

5. Caractéristiques physico-chimiques des eaux

Température du lac (eau de surface 0-1 m): en moyenne, 25 à 28° (occasionnellement jusque 29,6°) d'octobre à mai, 22 à 25° de juin à septembre (minimum en juillet). Régime polymictique.

Transparence: 0,60 à 1,46 m.

pH: 7,0-9,3 dans le lac Moero; 6,0-6,9 dans les biomes marécageux.

Conductance spécifique: $49-125.10^{-6}$ S.cm⁻¹ (Symoens 1968).

Résidu sec: 41-69 mg.l⁻¹ (Symoens 1968).

Alcalinité: 0,5-1,1 méq.l⁻¹ (Symoens 1968).

Substances dissoutes: lac Moero, à Kilwa, nov. 1959 (Symoens 1968):

Ca	7,40 mg.l ⁻¹	HCO ₃	46,2 mg.l ⁻¹
Mg	4,30 mg.l ⁻¹	CO ₃	1,2 mg.l ⁻¹
Na	5,60 mg.l ⁻¹	SO ₄	2,0 mg.l ⁻¹
K	2,05 mg.l ⁻¹	Cl	3,5 mg.l ⁻¹
SiO ₂	6,00 mg.l ⁻¹		

V. aussi Stappers 1914; Talling & Talling 1965.

Oxygène: L'eau du lac est bien oxygénée: 5,4-8,9 mg.litre⁻¹; pourcentage de saturation: env. 70-120. L'eau des marais est pauvre en oxygène, surtout aux basses eaux.

6. Macrophytes

Hydrophytes: Ceratophyllum demersum, Potamogeton spp., Najas horrida, Vallisneria aethiopica, Lagarosiphon ilicifolius, Utricularia spp., Nymphaea lotus, N. coerulea, etc. Pleustophytes: Pistia stratiotes, Azolla pinnata.

Le long du Luapula: groupements à Vossia, Echinochloa (E. jubata et E. stagnina) ou Phragmites, avec Cyperus imbricatus, Polygonum senegalense, Jussiaea leptocarpa, Melanthra scandens, Ethulia conyzoides; fourré bas à Mimosa pigra.

Dans la plaine du bas Luapula et le long de la rive S du lac: "lagoons" à vastes nymphaies, prairies aquatiques à Vossia, marais à Papyrus et Thelypteris et, de place en place, bosquets d'Aeschynomene elaphroxylon ("Mashila"), accompagné d'Hibiscus diversifolius.

Le long des rives basses du lac: prairies aquatiques à Vossia cuspidata et à Leersia hexandra, et papyraies. Sur les rives rocheuses: gazonnements de Chlorophycées, surmontés d'un groupement ouvert à Alternanthera, Ipomoea, Oldenlandia, etc.

7. Phytoplancton (Evens 1949, De Kimpe 1964).

Le phytoplancton est à dominance de Cyanophytes (Microcystis, Merismopedia, Aphanothece, Lyngbya, Anabaena, etc.) et, au moins à certaines périodes, de Dinophycées. Parmi les Chlorophytes, nombreuses Chlorococcales (Botryococcus braunii partout présent) et Desmidiées très diverses (Staurastrum gracile et S. quadribachiatum en sont les plus abondantes).

Production primaire: 340 mg C m⁻².d⁻¹ (juin, A. Nauwerck, comm. pers.).

8. Invertébrés

Zooplancton (v. principalement Evens 1949, De Ridder 1981, Einsle 1971, Korinek 1984).

Rotifères: environ 80 espèces, dont 28 typiquement planctoniques sont signalées du lac Moero et du bas Luapula.

Copépodes libres: 14 espèces du Moero et du bas Luapula, dont 1 endémique du bassin Bangweolo - Luapula - Moero (Tropodiatomus symoensi).

Cladocères: 5 espèces trouvées en milieu pélagial au lac Moero; 21 espèces (dont bon nombre non typiquement planctoniques) dans le potamoplancton et les biotopes marécageux du bas Luapula et les milieux littoraux du lac.

Invertébrés benthiques

Spongiaires: 2 espèces de Potamophloios au Luapula (P. stendelli et P. symoensi), 4 au lac Moero (P. stendelli, P. gilberti, P. songoloensis, P. hispida) (Brien 1967, 1969). Dans ces éponges se développent des larves et nymphes de trichoptères du genre Ceraclea (Marlier 1981).

Sangues: 5 espèces du bas Luapula et du Moero (Sciacchitano 1935).

Crustacés: 2 Atyides (Caridina indistincta et C. togoensis) (Roth-Woltereck 1942) et 4 crabes (Balss 1936).

La faune malacologique du lac Moero est plus riche que celle du Bangweolo et présente un taux d'endémisme inattendu pour ce lac peu profond: 13-16 espèces de Gastéropodes (dont 8 endémiques du lac et du Luapula: Bellamya crawshayi, B. pagodiformis, B. mweruensis, Cleopatra mweruensis mweruensis, C. johnstoni, Melanoides mweruensis, M. imitatrix, M. crawshayi), 9 de Bivalves (dont 5 endémiques: Caelatura mweruensis, C. schoutedeni, C. symoensi, Prisodontopsis johnstoni, Mutela hargerii hargerii). Présence de 4 espèces trouvées dans le bas Luapula, mais non encore observées au lac. Le Luapula et le Moero hébergent Lymnaea natalensis, hôte intermédiaire de la douve du foie

Fasciola gigantica, Biomphalaria pfeifferi, principal vecteur de Schistosoma mansoni, et Bulinus globosus, vecteur de Schistosoma haematobium et S. capense (v. principalement Pilsbry & Bequaert 1927, Darteville & Schwetz 1948, Mandahl-Barth 1968).

9. Poissons

Le peuplement piscicole du bas Luapula et du lac Moero est très diversifié: 146 espèces connues du système Luapula-Moero (Poll 1976); 94 du lac Moero (Jackson 1971). Nombreux Cyprinides, Mormyrides, Characides, Clariides, Cichlides. Quelques espèces remarquables: Protopterus annectens brienii ("Nsompo", Lung Fish), Nothobranchius taeniopygus. Nette affinité avec la faune piscicole du Zambèze supérieur. Espèces (ou sous-espèces endémiques): 39, dont 8 Barbus (Poll 1976).

Une des espèces les plus importantes du Moero est le Sarotherodon macrochir (Green-headed Bream) qui y est connu sous deux stades: l'adulte ("Mpale"), pélagique, vivant surtout dans le nord du lac, et le jeune ("Kakenje"), qui se cantonne aux baies et marais du sud, s'y abritant dans la végétation, principalement parmi les Vossia. Les reproducteurs migrent annuellement de juillet à septembre vers le sud où ils demeurent jusqu'en février.

Divers mormyrides, characides et cyprinides dont le Labeo altivelis ("Mpumbu" ou "Pumbu", Luapula Salmon) effectuent des migrations potamodromes et remontent du lac vers les rivières pour frayer. Alestes macrophthalmus ("Musebele"), aurait deux périodes de fraie: de nombreux individus potamodromes vont frayer dans les rapides de la Kalungwishi (octobre - novembre); une autre fraie aurait lieu dans le lac même (vers mars).

10. Autres vertébrés

Reptiles: Les deux crocodiles (Crocodylus cataphractus et C. niloticus) existent au lac Moero et occasionnent parfois d'importants dégâts aux filets de pêche en s'attaquant aux poissons capturés. A signaler également un serpent aquatique très venimeux, existant aussi au lac Tanganyika: Boulengerina annulata stormsi.

Oiseaux: L'avifaune aquatique est riche et comprend le remarquable Balaeniceps rex (Bec-en-Sabot, Shoebill).

A citer également: Podiceps ruficollis (Grèbe castagneux, Little Grebe), Phalacrocorax africanus (Petit Cormoran d'Afrique, Long-tailed ou Reed Cormorant), Ardea goliath (Héron goliath, Goliath Heron), Dendrocygna viduata (Dendrocygne veuf, White-faced Tree-Duck), Porzana pusilla obscura (Marouette de Baillon, Baillon's Crake), Limnecorax flavirostra (Râle noir, Black Crake), Actophilornis africana (Jacana), Ceryle rudis (Martin-pêcheur pie, Pied Kingfisher), Muscicapa aquatica (Gobe-mouches des marais, Swamp Flycatcher), Ploceus pelzelni (Tisserin de Pelzel, Slender-billed Weaver), etc.

Parmi les migrants paléarctiques: Larus fuscus (Goéland brun, Lesser

Black backed Gull), Chlidonias leucoptera (Guifette à ailes blanches, White winged Black Tern), Acrocephalus schoenobaenus (Rousserole phragmite, Sedge-Warbler).

Avifaune aquatique très semblable à celle du lac Bangweolo (coefficient de similitude 81%), du lac de barrage de la haute Lufira (73%), des Kafue Flats et de la région Chobe-Ngami-Okavango (72%), du lac Malawi (71%), de la plaine Barotse (68%), de l'Upemba (67%).

Mammifères (v. principalement Schouteden 1945, Ansell 1960).

Hippopotamus amphibius ("Mfubu", Hippopotame) est abondant au Moero et dans la Luvua. Tragelaphus spekei ("Nsobe", Sitatunga) existe dans les marais du bas Luapula et de la basse Kalungwishi. Le Kobus leche (Lechwe rouge, Red Lechwe) est connu de la région marécageuse du bas Luapula; la sous-espèce smithemani (Lechwe noir, Black Lechwe) existerait peut-être au débouché de la Kalungwishi. Parmi les autres espèces de plaines indondables: Kobus vardonii ("Nsobe", "Nsebula", Cob de Vardon, Puku). Les rives marécageuses du bas Luapula sont encore fréquentées par des troupeaux de Loxodonta africana kochi ("Nsofu", Eléphant). La loutre Aonyx congica est signalée de Lukonzolwa.

11. Activités humaines et aménagement

Populations: Du côté zaïrois, la zone de Kasenga comportait 101 310 habitants, celle de Pweto 129 527 habitants en 1984; ces populations sont d'ethnies Shila et Bwile. Du côté zambien, le District de Kawambwa avait 165 000 habitants en 1969, avec une tendance à l'exode; les populations y sont d'ethnies Shila et Bwile au lac Moero; dans la vallée du Luapula, une migration des Lunda vers 1740 établit le royaume de Mwata Kazembe. Outre les langues locales Shila et Bwile, la lingua franca de la région est le bemba; du côté zaïrois, la connaissance du swahili est très fréquente.

La région ne comporte pas de villes importantes. Seules sont à signaler les localités de Kasenga, Chibambo, Kilwa, Lukonzolwa et Pweto du côté zaïrois; Mbereshi, Nchelenge et Chiengi du côté zambien. Il n'y a ni industries minières ni industries manufacturières. Le tourisme est peu développé.

Agriculture: Prospère, pratiquée localement selon le système agricole du "Chitemene". Culture vivrière principale: le manioc; accessoirement le millet, le maïs, l'arachide, la patate douce.

Pêche: L'activité principale dans le bassin du bas Luapula et du Moero est la pêche. La pêche y porte surtout sur le Sarotherodon macrochir ("Mpale", "Kakenje"), le Tylochromis ("Tembwa"), le Serranochromis ("Makobo"), accessoirement le Gnathonemus ("Lusa"), l'Auchenoglanis ("Imbwa"), le Clarias ("Kabambale", "Muta"), l'Alestes ("Musebele"). Signalons encore le Synodontis ("Bongwe"). Le Labeo altivelis ("Mpumbu" ou "Pumbu", Luapula Salmon) représentait 40% des captures il y a une quarantaine d'années; à présent, il est tout à fait insignifiant.

Le nombre de pêcheurs est estimé à 6 000 (Welcomme 1972).

Les estimations de la production potentielle du Luapula-Moero varient de 35 000 t.année⁻¹ (estimation de la Joint Fisheries Research Organisation) à 52 000 t.année⁻¹ (estimation du Service des Eaux et Forêts de l'ancien Congo belge).

En 1958, la production du Luapula-Moero du côté zaïrois a été de 13 670 t. Vers 1970, la production annuelle serait tombée à environ 1 800 t. Les statistiques officielles plus récentes donnent les valeurs ci-après (Luvuande Wosey 1983):

	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
+	3130	3443	3274	3368	3574	3186	3083

Du côté zambien, les statistiques de pêche ont été publiées d'abord par le Gouvernement de la Rhodésie du Nord dans les Annual Reports du Game and Tsetse Control Department (jusqu'au rapport pour 1958), puis les Annual Reports, Game and Fisheries, du Ministry of Native Affairs, et les Annual Reports, Game and Fisheries, du Ministry of Native Affairs, et les Annual Reports de la Joint Fisheries Research Organisation; et à partir de 1964, par le Gouvernement de la République de Zambie dans le Fisheries Research Bulletin et dans les Annual Reports, Game and Fisheries, du Ministry of Lands and Natural Resources, puis du Ministry of Natural Resources and Tourism. La production du côté zambien, selon les statistiques ministérielles, a longtemps fluctué entre 6 000 et 8 000 short tons, soit 5 400 à 7 200 t métriques. Pour la période 1975-1982, les valeurs de production annuelle ont été de 7 629 à 10 680 t (FAO, données inédites).

La production commercialisée du bas Luapula et du Moero alimente essentiellement les cités minières du Shaba et du Copperbelt zambien.

Vers 1955, des concours de pêche sportive à l'Hydrocynus ("Manda", Poisson-Tigre, Tiger-Fish) étaient organisés à Kasenga.

Signalons que c'est du Luapula et du lac Moero que provenaient les Sarotherodon macrochir ("Tilapia macrochir") utilisés pour la pisciculture à Lubumbashi. De là, ils furent expédiés un peu partout au Congo belge, de même que la race zambézienne importée vers 1948 (et dispersée sous le nom erroné de T. andersonii).

Transport: Au début du XXe siècle, l'African Lakes Corporation a exploité un bateau à moteur au départ de Chiengi. Du côté du Zaïre, une ligne régulière de bateaux à moteur mi-cargo mi-courrier de faible tonnage a été en exploitation deux fois par mois entre Kasenga et Pweto.

7.4. LAC UPEMBA ET ZONES HUMIDES DE LA DEPRESSION DU KAMOLONDO/ LAKE UPEMBA AND WETLANDS OF THE KAMOLONDO DEPRESSION

1. Géographie et morphologie (fig. 7.6)

Situation: Zaïre, Région du Shaba, Zones de Bukama et de Malemba Nkulu. Le plus grand des lacs de la dépression du Kamolondo, le lac Upemba, est situé entre 8°32' et 8°49' S et 26°13' et 26°30' E.

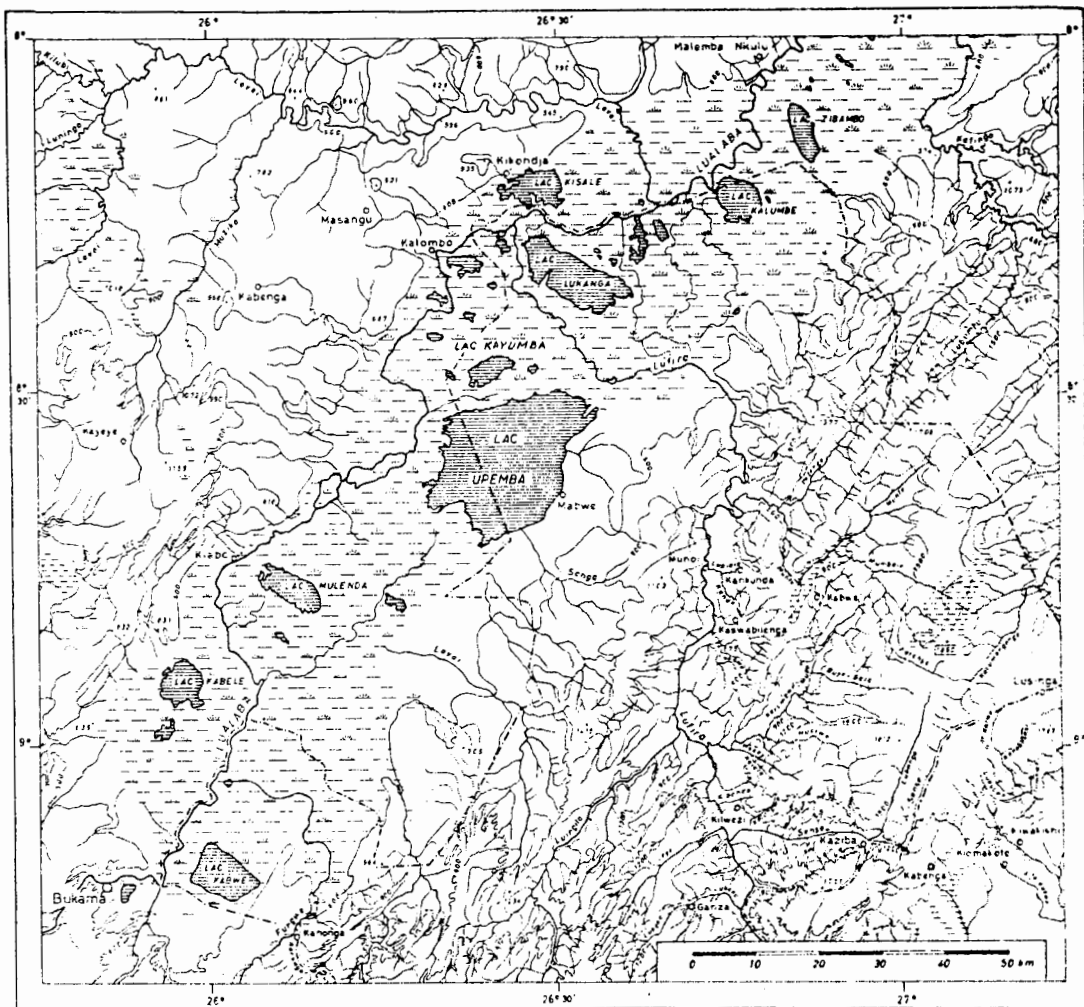


Fig. 7.6. Carte du lac Upemba et des zones humides de la dépression du Kamolondo. Le trait formé de tirets et de points représente la limite du Parc National de l'Upemba.

Map of Lake Upemba and the wetlands of the Kamolondo Depression. The boundary of the Upemba National Park is shown by the dash-dot line.

Altitude: env. 550 m.

Paysages: La dépression du Kamolondo est un graben de direction générale SSW - NNE parcouru du S vers le N par le fleuve Lualaba (haut Zaïre). Dans cette vaste dépression existent une cinquantaine de lacs peu profonds, aux rives basses, s'échelonnant de part et d'autre du Lualaba: lacs Kabwe, Kabele, Mulenda, Upemba, Kalondo, Lunda, Lukanga, Kisale, Niangwe, Zimbanbo, Kabala, etc. Ces lacs sont formés par les débordements du fleuve et du cours inférieur de la Lufira, avec lesquels ils communiquent par d'étroits chenaux, à peine visibles au milieu d'une végétation dense de marais à Papyrus et Typha, avec des massifs d'Aeschynomene elaphroxylon. En période de crue, on peut estimer les superficies cumulées des lacs et marais égales à celle du Moero.

Le plus grand des lacs de la dépression du Kamolondo est le lac Upemba dont nous donnons ci-après quelques caractéristiques (d'après Van Meel 1953b et Welcomme 1972): longueur maximum 40 km, largeur maximum 20 km, surface 530 km²; en profil, le lac se présente comme une très large cuvette, peu profonde (maximum 3,20 m en novembre), dont les points les plus bas se trouvent vers la rive E. Volume: $0,9 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ (Welcomme 1972). Le fond est généralement constitué par une vase molle, noirâtre, comprenant de fins débris végétaux.

2. Géologie

La dépression du Kamolondo ou fossé de l'Upemba est un graben dont le fond, à la cote de + 550 m, est bordé à l'W par les monts Hakansson, plateau très disséqué à l'altitude de 1000-1100 m, et à l'E par les Monts Bia et les hauts plateaux des Bianco (alt. max. 1700 m) et des Kibara (alt. max. 1890 m). Cette dépression serait principalement due à une flexure du bord W et une zone failleuse au bord E, celui-ci étant constitué par un escarpement très raide, jalonné par de nombreuses sources thermales fortement minéralisées (v. Mortelmans 1953; Cahen 1957).

Le soubassement de la région de l'Upemba est formé par le groupe des Kibara et une partie du groupe du Katanga. La dépression du Kamolondo elle-même est un graben remblayé d'alluvions récentes, parcouru par le fleuve Lualaba (haut Zaïre).

3. Climatologie générale (principalement d'après Bultot 1971-77)

Climat: Awi (Köppen)

Insolation:

Moy. ann.: 2400-2500 h. année⁻¹;
Max. en juillet (325 h), min. en janvier (130 h).

Rayonnement solaire global incident:

Moy. ann.: $166 \text{ kcal.cm}^{-2}.\text{année}^{-1}$, soit $19 \cdot 10^6 \text{ J.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$.

Bilan du rayonnement terrestre:

Moy. ann.: $50 \text{ kcal.cm}^{-2}.\text{année}^{-1}$, soit $5,7.10^6 \text{ J.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$
Max. en juillet (bilan journ. moy.: $10,0.10^6 \text{ J.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)
Min. en janvier (bilan journ. moy.: env. $4,2.10^6 \text{ J.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)

Bilan du rayonnement total:

Moy. ann.: $78 \text{ kcal.cm}^{-2}.\text{année}^{-1}$, soit $8,9.10^6 \text{ J.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$
Max. en janvier et mars (bilan journ. moy.: $10,0.10^6 \text{ J.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)
Min. en juillet (bilan journ. moy.: $5,9.10^6 \text{ J.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)

Pluviométrie (fig. 7.2):

Moy. ann.: 1000 mm;
Max. en décembre (175-180 mm).
Durée moy. de la saison sèche: 155-160 jours.

Evaporation:

Evapotranspiration potentielle gazon: moy. ann. env. 1200 mm;
Evapotranspiration réelle gazon: moy. ann. 950 mm.

Indice radiationnel d'aridité de Budyko: 1,30.

Température de l'air (fig. 7.2):

Moy. ann.: $24,4^{\circ}$;
Max. en septembre (moy. vraie 27° , moy. max. journ. 36° , moy. min. journ. 19°);
Min. en juin (moy. vraie env. 23° , moy. max. journ. 33° , moy. min. journ. env. 14°).

4. Hydrographie - Hydrologie

La dépression du Kamolondo est parcourue du SSW au NNE par le Lualaba (haut Zaïre); ses principaux affluents y sont la Lufira et la Luvoï.

Les eaux du Lualaba sont hautes de février à avril, basses d'août à octobre; la fluctuation annuelle du niveau est en moyenne de 3,0 m à Bukama et 1,9 m à Maka et au maximum de 5,8 m à Bukama et 3 m à Maka. Au lac Upemba, les eaux sont hautes de mars à juin, basses d'octobre à janvier; la fluctuation annuelle du niveau est de 1,3 m en moyenne, de 2,5 m au maximum (Devroey 1961). La surface sous eau en période de crue est de $11\,840 \text{ km}^2$, en période d'étiage de $7\,040 \text{ km}^2$ (Welcomme 1979).

La dépression du Kamolondo constitue une région exorhéique. L'évacuation des eaux se fait vers le N par le Lualaba.

5. Caractéristiques physico-chimiques des eaux

Température: La température de l'eau du lac Upemba varie en surface de $22,8^{\circ}$ à $32,9^{\circ}$ (min. en juillet) à $32,9^{\circ}$ (max. en novembre); près du fond de $20,3^{\circ}$ (min. en juillet) à 31° (max. en novembre). Le lac est polymictique, les périodes de circulation très fréquentes.

Couleur: L'eau du lac Upemba a une couleur vert jaune brunâtre (11-12 de l'échelle de Forel).

pH: L'eau du lac Upemba a un pH de 6,4 à 8,0.

Conductance spécifique (à 18°): 139 à 244.10⁻⁶ S.cm⁻¹ (valeurs calculées d'après les données de Van Meel 1953).

Alcalinité: L'eau du lac Upemba a une alcalinité de 1,65-1,80 méq.l⁻¹ (min. de janvier à mars) à 3,4-4,1 méq.l⁻¹ (max. en août).

Ions dissous: L'eau du lac Upemba contient de 20 à 55 mg Ca.l⁻¹, 2,94-17,26 mg Mg.l⁻¹.

6. Macrophytes

La dépression du Kamolondo, avec ses vastes zones d'inondations, présente une grande variété de groupements aquatiques ou marécageux. Parmi les hydrophytes: Nymphaea capensis et N. lotus. Sur l'eau, des tapis de Trapa natans var. bispinosa, plus localement de Pistia stratiotes. Des rives marécageuses peuvent se détacher de petites îles flottantes de Pycneus mundtii et Paspalidium geminatum. Deux groupements principaux de marais, l'un à Typha, l'autre à Cyperus papyrus, souvent accompagné de Thelypteris, Polygonum, Impatiens. Le Papyrus forme aussi des îles flottantes dont certaines pourraient atteindre plus de 15 ha; fréquentes dans tous les lacs du Kamolondo, ces îles ont longtemps gêné la navigation sur le bief Bukama-Kongolo, et en particulier au passage du lac Kisale. Petits bois marécageux à Aeschynomene elaphroxylon très fréquentés par les oiseaux.

Des mesures de biomasse des marais à Papyrus ont donné des valeurs de 1,06-1,16 kg mat. sèche.m⁻². Des mesures de production primaire des marais à Papyrus ont donné des valeurs de 13 à 26 g.m⁻².d⁻¹; dans les plaines inondables 7 g.m⁻².d⁻¹ (Thompson et al. 1979).

7. Phytoplankton

Selon Van Meel (1953), le phytoplankton du lac Upemba prélevé au filet serait pauvre : quelques Pediastrum, Scenedesums, un Staurostrum, un rare Navicula. Nannoplankton beaucoup plus abondant, présentant deux sommets, l'un en janvier-février (3 cm³.l⁻¹), le second en juillet (1,8 cm³.l⁻¹). Nombre de cellules 62 500 à 3 420 000 cell. ml⁻¹.

Au lac Kisale, dominance des Bacillariophycées (40% en volume) et Chlorophytes (20%); production primaire 190 mg C m⁻².d⁻¹ (juillet, A. Nauwerck, comm. pers.).

8. Invertébrés

Zooplankton: Encore insuffisamment étudié. Abondance des Calanoides. Cyclopidés: 4 espèces signalées: Mesocyclops leuckarti (dominant), Thermocyclops neglectus, Microcyclops varicans, Ectocyclops hirsutus (Lindberg 1951).

Invertébrés benthiques: Dans la faune benthique dominant les Chironomides (Van Meel 1966).

Bryozoaires: Plumatella javanica et Stolella indica (Wiebach 1964).

Faune malacologique du Kamolondo: sont signalées 19 espèces de Gastéropodes, 8 de Bivalves. La région héberge Lymnaea natalensis, hôte intermédiaire de la douve de foie Fasciola gigantica, et Bulinus globosus, vecteur de Schistosoma haematobium et S. capense (Dautzenberg & Germain 1914, Pilsbry & Bequaert 1927); elle se trouve également dans l'aire de Biomphalaria pfeifferi, hôte intermédiaire de S. mansoni (Brown 1980).

Ostracodes: 4 espèces connues du lac Upemba et de ses abords: Mecynocypria limnalis, M. granulata, Stenocypris major et Acocypris longiuscula (Rome 1964).

9. Poissons (v. principalement Poll 1976)

141 espèces connues de la région du haut Lualaba-Upemba. Nombreux Cyprinides, Mormyrides, Cichlides, Mochocides. Parmi les poissons remarquables, les Protopterus ("Sombo"): P. aethiopicus congicus et P. annectens brienii; les Polypterus ("Musekele", "Mukunga"): P. bichir katangae, P. endlicheri congicus, P. ornatipinnis, P. senegalus meridionalis; le Tetrodon mbu ("Kibumbe").

Nette affinité avec la faune ichthyologique du Zaïre central; affinité modérée avec celle du Zambèze supérieur (à noter toutefois l'absence du Sarotherodon macrochir, par ailleurs général au Shaba); présence de quelques espèces nilotiques: Protopterus aethiopicus (représenté ici par la sous-espèce congicus), Polypterus bichir (représenté ici par la sous-espèce katangae), P. senegalus, Ichthyoborus besse et Sarotherodon niloticus (représenté ici par la sous-espèce locale upembae). Espèces (ou sous-espèces) endémiques: 14 (Poll 1976). Un certain nombre de Poissons du lac Upemba se réunissent près des plages de sable et fraient quand les eaux sont basses (Labeo annectens, Clarias sp., Synodontis notatus, S. pleuropis, Sarotherodon niloticus upembae): la prédation par les Crocodiles et les Pélicans est alors intense.

10. Autres vertébrés

Amphibiens (v. principalement Laurent 1957, Schmidt & Inger 1959): Env. 50 espèces signalées du Parc National de l'Upemba, dont 34 dans les régions basses (27 à Mabwe, lac Upemba). Quelques espèces (ou sous-espèces) sont endémiques de la dépression du Kamolondo et de ses environs (p. ex. Phrynobatrachus cryptotis, Afrivalus fulvovittatus upembae); Hemisis wittei est commun à l'Upemba et au Moero. La période de reproduction des Amphibiens coïncide généralement avec la saison des pluies.

Reptiles (v. principalement de Witte 1953): Env. 100 espèces signalées du Parc National de l'Upemba; parmi les espèces des régions basses: Pelusios subniger, Crocodylus cataphractus, C. niloticus (plus rare que le précédent), Varanus niloticus niloticus, V. exanthematicus

angolensis, Amphisbaena quadrifrons capensis, Monopeltis scalper gerardi, Aparallactus capensis punctatolineatus.

Oiseaux (v. principalement Verheyen 1953).

L'avifaune des lacs, marais et plaines inondables de la dépression du Kamolondo est riche et comprend des espèces remarquables: Balaeniceps rex (Bec-en-sabot, Shoebill), Pelecanus rufescens ("Liomba", Pélican gris, Pink-backed Pelican), Balearica regulorum ("Powani", Grue couronnée, Crowned Crane). A noter, outre des migrateurs africains, quelques migrateurs paléarctiques: Larus fuscus ("Puppilla", Goéland brun, Lesser Black-backed Gull), Chlidonias leucoptera ("Membe", Guifette à ailes blanches, White-winged Black Tern), Sterna hirundo ("Membe", Sterne Pierre-Garin, Common Tern), Motacilla flava ("Kamukonga", Bergeronnette jaune, Yellow Wagtail), Acrocephalus schoenobaenus ("Katende", Rousserolle Phragmite, Sedge-Warbler), Riparia riparia ("Kamimbi", Hirondelle de rivage, Sand-Martin), etc.

Avifaune aquatique très comparable à celle du Bangweolo (coefficient de similitude 75%), du lac de barrage de la haute Lufira (70%), des Kafue Flats (69%), du lac Malawi (68%), du Moero (67%).

Verheyen (1953) a étudié le rythme de reproduction de diverses espèces fréquentant le lac et ses marais. S'y reproduisent toute l'année ou du moins y ont deux couvées annuelles: Limnocorax flavirostra ("Kafututu", Râle noir, Black Crake), Actophilornis africana ("Katanta", Jacana), Corvuthornis cristata ("Kantantalualuba", Martin-Pêcheur huppé, Malachite-Kingfisher), Muscicapa aquatica lualabae ("Kapupulu, Gobe-mouches aquatique, Swamp-Flycatcher). D'autres y nidifient au cours de la saison sèche tels Anhinga rufa rufa ("Luinza", Oiseau-serpent, Darter) exclusivement piscivore, Gypohierax angolensis ("Mombo, Vautour d'Angola, Palm-nut Vulture) qui se nourrit de poissons morts, de charognes de mammifères, aussi de fruits de palmiers; la concentration de la vie aquatique dans des étangs temporaires favorise: Pyrherodia purpurea madagascariensis ("Kitwatwa", Héron pourpre, Purple Heron), Ixobrychus minutus payesi ("Kifolobwe", Butor blongios, Little Bittern), Ephippiorhynchus senegalensis ("Tundwe", Jabiru, Sadlebill); Anastomus lamelligerus ("Kimwanamwana", Bec-ouvert, Openbill) s'y nourrit essentiellement de mollusques; Haliaetus vocifer ("Ngwasi", Aigle pêcheur ou Pygargue vocifer, Fish-Eagle) de silurides et de varans. Se reproduisent en saison des pluies; Butorides rufiventris (Héron à ventre roux, Rufous Heron), Plectropterus gambensis ("Sekwa", Oie éperonnée, Spur-winged Goose), Ploceus pelzelni (Tisserin de Pelzel, Slender-billed Weaver); certaines espèces semblent nidifier de préférence dans la première moitié de la saison des pluies, quand les eaux sont encore basses: Butorides striatus atricapillus ("Kifolobwe", Petit Héron vert, Green-backed Heron), Ardea goliath ("Konkwekionimabwe", Héron goliath, Goliath Heron); d'autres plutôt dans sa seconde moitié; Sarkidiornis melanotis ("Nkule", Oie tuberculée, Knob-billed Goose), Dendrocygna viduata ("Filielie", Dendrocygne veuf, White-faced Tree-Duck), Porphyrula alleni ("Kipena", Petite poule sultane, Lesser Gallinule), également le grand rapace Pandion haliaetus (Balbuzard fluviatile, Osprey).

Mammifères (v. principalement Schouteden 1945, Frechkop 1945, Verheyen 1951).

Les lacs et marais sont le séjour de Hippopotamus amphibius ("Kiofwe", Hippopotame), Kobus leche smithemani (Lechwe noir, Black Lechwe) et Tragelaphus spekei selousi (Sitatunga). Dans les larges vallées de la Lufira et de ses affluents et les régions basses voisines du lac, on trouve Loxodonta africana knockenhaueri ("Npolo", Eléphant), Syncerus caffer ("Nboo", Buffle, Buffalo), Kobus defassa crawshayi ("Kondolo", Cob onctueux, Defassa Waterbuck), Kobus vardonii ("Sebula", Cob de Vardon, Puku), occasionnellement de Tragelaphus scriptus ornatus ("Ngulungu", Antilope harnachée, Buschbuck), également Phacochoerus aethiopicus sundevalli ("Penge" ou "Kilombweze", Phacochère, Wart Hog) et Potamochoerus porcus ("Ngurube", Potamochère, Bush Pig).

11. Activités humaines et aménagement

Populations: En 1984, la zone de Bukama comportait 199 557 habitants; celle de Malemba-Nkulu 240 613 habitants; la densité augmente progressivement du sud vers le nord. Ces populations sont d'ethnie Luba; elles s'expriment en Luba-Shaba.

La région ne comporte pas de grandes villes. Les deux chefs-lieux de zones, Bukama et Malemba-Nkulu, sont les deux seules localités de quelque importance. Il n'y a ni industries extractives, ni industries manufacturières. Le tourisme est quasi nul.

Pêche: La pêche constitue l'activité principale dans la dépression du Kamolondo. Elle se pratique aux harpons ("Songolelo", "Kubulo", "Kisamo"), aux lignes à main ou dormantes, aux filets ("Luelo", "Maliba", ou "Mukonde", "Kiamukokwa"), à la nasse ("Muteko"), également par empoisonnement au Tephrosia ("Buba") (Poll & Renson 1948). La pêche porte principalement sur les tilapias ("Kikele", "Makoki"), ensuite sur les Citharinus ("N'Ganza" et "Mbabala"), les Mormyrides ("Mulemba", "Lutonda", "Lutungu"), les Clarias ("N'So"), les Lates ("Kisangula"), les Poissons-tigres ou Hydrocynus ("Manda" et "Mulumba"). Ces lacs constituent le bief le plus poissonneux du Shaba: ils ont produit 22 000 t en 1957, 16 500 t en 1959. Les statistiques officielles plus récentes donnent des valeurs du même ordre de grandeur (Luvuande Wosey 1983):

	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
lac Upemba (t)	5 220	5 742	5 460	5 517	5 960	5 314	5 141
autres lacs (t)	10 440	11 484	10 920	11 233	11 922	10 628	10 283

Les centres de commerce du poisson sont: Maka, Kiabo, Nyonga (où fut installée dès 1938 la première installation frigorifique de la région), Kalombe, Kikondja, Masango, Malemba N'Kulu (où la société Géomines créa vers 1948 un grand centre de froid), Kabala et Mulongo. La production commercialisée est écoulée vers le nord du Shaba, le Kasai, les grands centres miniers du Shaba.

Transport: Autrefois, la navigation sur le Lualaba était exploitée de Kongolo à Bukama sur une distance de 650 km; en 1938, Kongolo et Kabalo ont été réunis par la voie ferrée, de sorte que la navigation se limita au bief Kabalo-Bukama. Avant 1956, le trafic à la montée était de 50 000 à 60 000 t/an, à la descente de 60 000 à 80 000 t/an; pour les

passagers, il était, dans chaque sens, d'environ 120 Européens et 8 000 Africains. En 1956, fut inaugurée la liaison ferrée Kamina-Kabalo: celle-ci a fait perdre son importance à la voie fluviale. Seuls deux postes, Muyumba au km 299 et Malemba Mkulu au km 375 ont encore connu un certain trafic. Le balisage et le maintien de la passe dans les papyrus du Kisale sont quasi abandonnés.

Conservation: Une part appréciable de la dépression du Kamolondo est couverte par le Parc National de l'Upemba et sa zone-annexe. Le Parc National de l'Upemba a été créé par décret du 15 mai 1939. Sa gestion a été confiée à l'Institut des Parcs Nationaux du Congo belge auquel ont succédé l'Institut des Parcs Nationaux et Réserves Naturelles du Katanga (de façon temporaire et pour cette seule réserve, v. Symoens 1963), et actuellement l'Institut Zaïrois pour la Conservation de la Nature. La législation en application dans le Parc a été établie par l'ordonnance-loi No 69-041 du 22 août 1969. Le Parc avait initialement 1 173 000 ha, mais sa superficie a été réduite à env. 1 000 000 ha, une grande partie ayant été rétrocédée par suite des revendications de terres par les populations environnant le Parc. Les limites actuelles du Parc ont été sanctionnées par l'ordonnance-loi No 75-241 du 22 juillet 1975.

7.5. FORETS MARECAGEUSES ET PERIODIQUEMENT INONDEES DE LA CUVETTE ZAÏROISE/SWAMP FORESTS AND PERIODICALLY INUNDATED FORESTS OF THE CENTRAL ZAIRE DEPRESSION

1. Géographie et morphologie (fig. 7.7)

Situation: Partie W de la Cuvette zaïroise, entre 16 et 20° E et entre 2°30' N et 2° S. Zaïre. Régions de l'Equateur et de Bandudu; Congo, Préfecture d'Impfondo, d'Ouessou et d'Owando.

Altitude: 300-330 m.

Superficie du bassin versant: 2 800 000 km², à Bolobo, où le Zaïre quitte la zone marécageuse (Devroey 1961).

Surface de la zone considérée: 220 000 km², dont environ 60% inondés en permanence ou périodiquement.

Paysages: Cette zone occupe la partie la plus déprimée de la Cuvette zaïroise, formée par les basses vallées alluviales du Zaïre, de l'Ubangi, du Ruki, de la Sanga et de leurs affluents.

Le cours de ces rivières est divisé en nombreux bras, souvent anastomosés, formant une mosaïque d'îles, de levées naturelles et de marais. La couverture végétale est formée principalement de forêts marécageuses ou périodiquement inondées. On y trouve également des forêts de terre ferme et des plaines herbeuses sèches, marécageuses ou périodiquement inondées appelées "esobe".

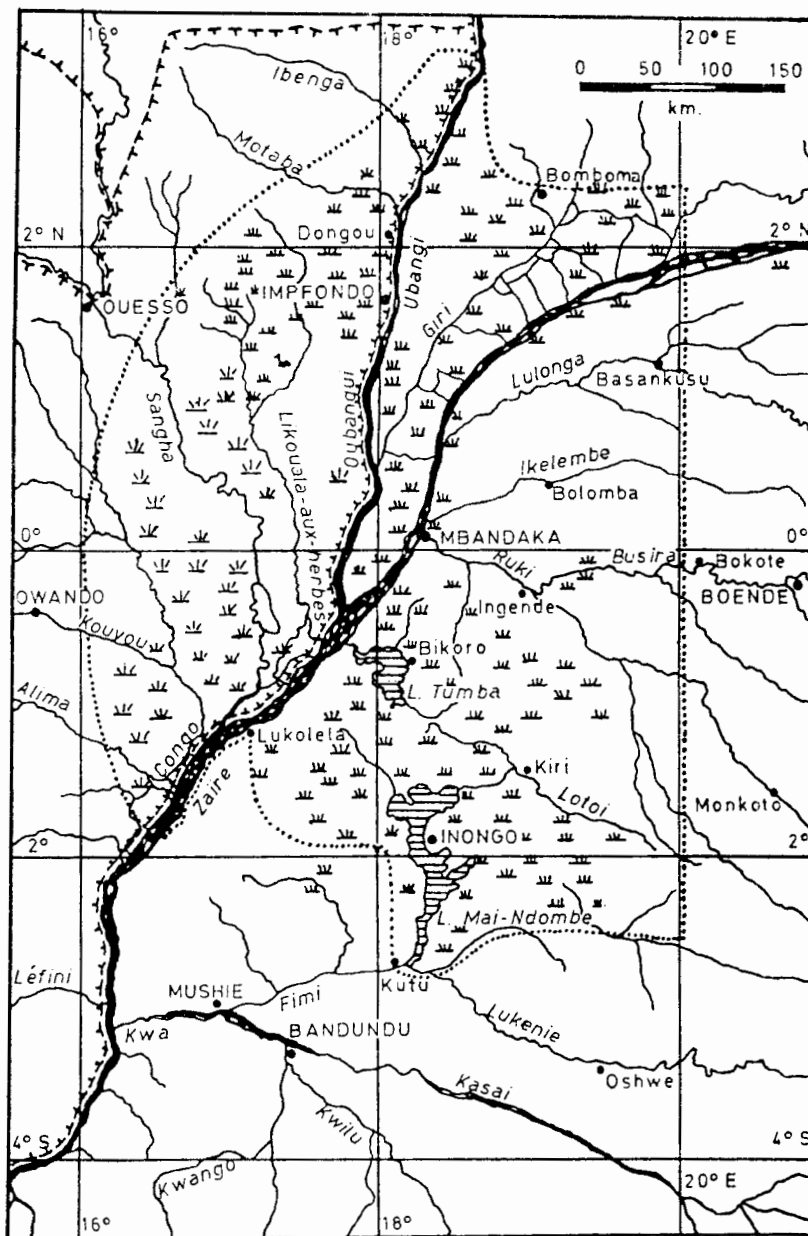


Fig. 7.7. Carte de la région des forêts marécageuses et périodiquement inondées de la Cuvette zaïroise. Le trait pointillé délimite le territoire traité sub 7.5.

Map of the swamp forest and periodically inundated region of the Zaire Basin. The dotted line indicates the area treated in section 7.5.

2. Géologie (Jongen & Jamagne 1966, Lepersonne 1974)

Dans toute la zone considérée les terrains de soubassement, constitués par le système du Karroo, sont masqués par des nappes de sables de recouvrement. Ce sont principalement les couches de la Busira, dépôts lacustres ou fluvio-lacustres postérieurs au Pliocène supérieur et constitués de sables argileux jaunes (25 à 30% d'argile) et les formations alluvionnaires d'âge holocène (intermédiaires ou récentes), caractérisées par une fraction sableuse très fine et une teneur en limon variant de 4 à 10%.

Le relief est très uniforme; des lignes de crête peu élevées séparent les bassins hydrographiques comme ceux de l'Ikamba et de la Busira, mais le plus souvent les affluents s'étalent en bandes marécageuses de plus en plus larges à l'approche de leur confluence.

Les sols sont gorgés d'eau toute l'année et présentent souvent un horizon superficiel noir, organique, tourbeux ou semi-tourbeux.

Les alluvions holocènes occupent le fond des grandes vallées, les rives du fleuve et toute la région comprise entre Zaïre et Ubangi. Les zones un peu plus élevées, interfluves, cours supérieurs de quelques rivières, vallées des affluents, sont occupées par des couches d'âge pliocène ou pleistocène.

3. Climatologie générale (Bultot 1971-1977):

V. fig. 7.2, diagrammes du lac Tumba, du lac Mai Ndombe et de la haute Ngiri

Climat: Afi (Köppen) de part et d'autre de l'équateur, Ami puis Awi à mesure que l'on s'éloigne de l'équateur vers le N ou vers le S.

Insolation: Moyenne annuelle, plus de 2000 h. année⁻¹ dans la plus grande partie de la région; à l'W du fleuve Zaïre, 1900-2000 h. année⁻¹ et même moins dans certaines parties de la Sanga et de la Likouala; assez régulièrement répartie au cours de l'année, avec un léger minimum en novembre.

Rayonnement solaire global incident: Moyenne annuelle 140 kcal. cm⁻². année⁻¹, soit 16.10^6 J.m⁻².d⁻¹, avec une légère diminution de juin à août.

Bilan du rayonnement terrestre: Moyenne annuelle 30-35 kcal. cm⁻². année⁻¹, soit $3,4-4.10^6$ J.m⁻².d⁻¹ (bilan journ. moy. inférieur à $4,2.10^6$ J.m⁻².d⁻¹ toute l'année au centre de la cuvette, supérieur à cette valeur dans le SW de juin à septembre).

Bilan du rayonnement total: Moyenne annuelle 75 kcal. cm⁻². année⁻¹ soit $8,6.10^6$ J.m⁻².d⁻¹; max. en mars-avril (bilan journ. moy. env. $9,4.10^6$ J.m⁻²); min. en juillet (bilan journ. moy. env. $6,5.10^6$ J.m⁻²).

Régime des vents: Vents relativement faibles, de moins de 3 km/h en moyenne, assez constamment de SW, sauf de juillet à octobre où ils soufflent plutôt d'W et NW.

Pluviométrie: Moyenne annuelle de 1600 mm au SW (Lukolela, basse Sanga) à plus de 2000 mm à l'E (Busira, Momboyo); max. en octobre-novembre (200-250 mm) puis en mars-mai (150-175). Saison sèche nulle sous l'équateur, se précisant graduellement, en décembre-janvier au N et en juin-juillet au S, pouvant dépasser 70 jours dans le SW.

Evaporation: Evapotranspiration potentielle gazon, moy. ann. 1000-1100 mm; Evapotranspiration réelle gazon, moy. ann. 1000-1100 mm; Evapotranspiration réelle des surfaces naturelles, moy. ann. 1250 mm; Humidité relative moyenne de plus de 85% toute l'année, dans toute la zone, sauf dans le SW où elle peut être inférieure à 80% entre juillet et septembre.

Indice radiationnel d'aridité de Budyko: 0,65 à 0,75.

Température de l'air: Moy. ann.: 25°C. Max. en mars (moy. vraie 25,5°, moy. max. journ. 31,5°, moy. min. journ. 20,5°). Min. en juillet (moy. vraie 24°, moy. max. journ. 29°, journ. 20°C).

4. Hydrologie et Hydrographie

Le réseau hydrographique est très dense; les pentes sont très faibles et l'écoulement réduit. Dans le secteur du fleuve Zaïre, les hautes eaux durent trois mois, d'octobre à décembre tandis que le niveau d'étiage est atteint de février à août; dans l'Ubangi et la Ngiri, les hautes eaux se produisent de septembre à novembre et les basses eaux de janvier à mai; enfin dans le Ruki et ses affluents les hautes eaux persistent pendant six mois, de novembre à avril tandis que les basses eaux ne durent que de juin à août.

L'amplitude de la crue dépasse généralement 3 m par an le long du fleuve et de ses affluents de gauche; dans l'Ubangi, elle atteint régulièrement 5 m. Dans les zones inondées, la décrue est retardée par les levées alluviales qui retiennent dans les fondrières et les marais le plan d'eau qui s'écoule lentement par de petits chenaux latéraux.

Ni le débit du Zaïre, ni celui des rivières qui alimentent la zone inondée ne sont connus avec précision; il est donc impossible d'en établir le bilan d'eau. Notons cependant que pour l'ensemble du bassin zaïrois, à une hauteur de pluie annuelle moyenne de 1510 mm correspond un écoulement de 337 mm et une évapotranspiration de 1173 mm. Au-dessus de la forêt équatoriale, l'évapotranspiration pourrait atteindre 1300-1400 mm par an (Bultot 1971b).

5. Caractéristiques physiques et chimiques des eaux (Berg 1961)

Température: Relativement peu élevée, de 20-25°C pour les petits cours d'eau peu ensoleillés; plus élevée, de 25 à 29°C pour le fleuve et les grandes rivières plus exposés à l'insolation.

Transparence: Les eaux humiques acides sont souvent plus limpides, même si elles sont colorées, la transparence y dépasse souvent 1 m (Secchi); les eaux complètement ou partiellement neutralisées sont souvent turbides, laiteuses et la transparence y est généralement plus faible.

Caractéristiques chimiques: Les eaux de la cuvette centrale zaïroise sont oligotrophes, acides, chargées en matières humiques; leur conductivité est toujours faible de 20 à $70 \cdot 10^{-6}$ S.cm⁻¹. Le tableau 1 donne les caractéristiques principales de quelques rivières. On y distingue des eaux humiques acides (type 1, pH 3,6-4,8) souvent fortement colorées en brun et des eaux humiques partiellement neutralisées (type 2, pH 5-7) ou complètement neutralisées (type 3, pH 6-8,1); la dureté totale des eaux humiques acides est faible et n'atteint pas 1 mg Ca/l; celle des eaux humiques complètement neutralisées peut atteindre plusieurs mg Ca/l tandis que les eaux humiques partiellement neutralisées présentent des valeurs intermédiaires. Le tableau 2 donne les concentrations ioniques moyennes de ces trois types d'eau.

La concentration en oxygène est faible aux pH bas (4-5) et proche de la saturation aux pH supérieurs (7-8).

En estimant à 4450 m³/sec le débit moyen du Ruki à son confluent avec le Zaïre, on a pu calculer que cette rivière, dont le bassin versant s'étend bien au-delà de la région considérée, déverse annuellement dans le fleuve plus de 1 750 000 t de substances minérales dissoutes. Plus de la moitié de cette quantité est formée par de la silice (912 000 t) si on admet une teneur moyenne du Ruki en SiO₂ de 6,5 mg/l (Symoens 1968). Les apports du Ruki représentent environ 5% de la masse totale des substances minérales dissoutes entraînées par le Zaïre dans l'océan (35 000 000 t/an: Deronde & Symoens 1980).

Tableau 7.1 Caractéristiques physico-chimiques de quelques rivières de la Cuvette zaïroise (Berg 1961)

	Trans- parence	Vitesse	T°	pH	Oxygène dissous	Acidité	Alcali- nité	Conduc- tivité	Type *
	m	km/h	°C		mg/l %sat	ml Na ₂ CO ₃ N/l	ml H ₂ SO ₄ N/l	10 ⁻⁶ S. cm ⁻¹	d'eau
Mongala	1.40	5	25.0	5.8	2.3 27	0.55	0.08	20	2
Ikelemba	1.00	3	25.1	3.9	2.3 27	1.20	0.00	45	1
Ruki	0.85	2	27.5	4.2	4.8 58	0.90	0.00	24	1
Zaïre- rive à Mbandaka	0.95	3	27.0	3.9	4.4 52	1.40	0.00	50	1
Zaïre- centre à Mbandaka	0.70	3	28	7.4	6.7 82	0.25	0.43	56	3

- * 1 = eaux humiques;
 2 = eaux humiques partiellement neutralisées;
 3 = eaux humiques complètement neutralisées

Tableau 7.2 Concentrations ioniques moyennes des différents types d'eau de la Cuvette zaïroise (microéquivalents/l) (Berg 1961)

Type d'eau	Na	K	Ca+Mg	NH ₄	NO ₃	Cl	HCO ₃ +SO ₄
1 (humique acide)	15.8	15.5	33.1	6	10	15	35(SO ₄)
2 (humique partiellement neutralisée)	30.0	25.0	140.0	6	12	13	42
3 (humique complètement neutralisée)	50.0	40.0	280.0	6	14	20	230

6. Macrophytes

Les grandes dépressions inondées en permanence sont colonisées par des forêts marécageuses de l'alliance à Entandrophragma palustre et Coelocaryon botryoides, notamment par l'association à Rothmannia megalostigma; les marais liés aux petites rivières portent plutôt une forêt à Lasiodiscus mannii appartenant à la même alliance. L'installation de ces forêts adultes est souvent précédée par des stades initiaux à palmiers-rotangs, à Raphia laurentii ou encore à Macaranga et Harungana.

Les vastes étendues périodiquement inondées par les crues du fleuve et des grandes rivières portent une forêt à Oubanguia africana et Guibourtia demeusei. Les rives sont colonisées par le fourré à Alchornea cordifolia ou à Pandanus candelabrum auquel succède une frange forestière à Uapaca heudelotii et Parinari congensis. Les endroits qui échappent aux inondations portent divers types de forêts de terre ferme, sempervirentes ou caducifoliées (Evrard 1968).

A côté des forêts, qui couvrent la plus grande partie de la zone, on observe d'autres types de végétation. Dans les eaux calmes, on trouve un groupement flottant à Pistia stratiotes et Lemma paucicostata ainsi qu'une association à Nymphaea lotus et Utricularia thonningii (Germain 1965). Des peuplements monospécifiques d'Eichhornia crassipes envahissent les eaux calmes des types 2 et 3 où ils constituent une sérieuse entrave à la navigation; par contre, ils ne semblent pas pouvoir s'établir dans les eaux humiques acides de type 1, à pH inférieur à 4,2 (Berg 1961).

Le long du Zaïre et des grandes rivières, la formation la plus commune est la prairie aquatique à Vossia cuspidata; les chenaux et les petites rivières à cours lent sont souvent bordés de prairies aquatiques à Cyperus nudicaulis. Une savane amphibie à Jardinea congoënsis occupe de grandes surfaces dans les parties temporairement exondées du lit du fleuve et des grandes rivières, souvent au contact de la prairie à Vossia. Les biotopes périodiquement inondés entre les cours d'eau sont

parfois colonisés par des savanes à Hyparrhenia diplandra, localement appelées "esobe" et pouvant couvrir des surfaces assez importantes. Enfin, des dépressions toujours gorgées d'eau peuvent abriter des micro-tourbières à Sphagnum planifolium et Drosera madagascariensis ou des savanes marécageuses à Selaginella congensis et Lycopodium affine (Germain 1965).

7. Phytoplancton

On ne sait pratiquement rien du phytoplancton de cette vaste région. Une cinquantaine d'algues ont été signalées du plancton du Ruki à Eala (van Oye 1926a) et un peu moins du fleuve Zaïre à Makonza (Kufferath 1948). Les Cyanophycées sont très rares dans ces récoltes. Les données publiées sont trop fragmentaires pour donner une image, même approximative, des populations algales de ces régions (van Oye 1923 à 1927).

8. Invertébrés

Les travaux publiés dans ce domaine sont plus nombreux que pour le plancton, mais nous sommes encore très loin d'un inventaire des invertébrés de la cuvette zaïroise. Dès lors, il n'est pas possible de tirer, des informations éparses et fragmentaires dont nous disposons, des données quantitatives sur les biomasses ou la productivité. Les mollusques aquatiques paraissent rares dans les eaux humiques acides, de même que les larves de moustiques, qui se développent cependant dans d'autres types d'eau. Parmi les espèces remarquables on peut citer les crevettes d'eau douce du genre Palaemon et les crabes du genre Potamonautes.

9. Poissons

Les poissons sont abondants et variés dans toute la cuvette zaïroise. Nous ne possédons pas de recensement des poissons de la zone des forêts inondées, mais la liste générale des poissons du Zaïre et de ses affluents entre Kisangani et Kinshasa (y compris le Pool Malebo) se montait à 408 espèces (Poll & Gosse 1963), dont une bonne partie ont été observées dans la zone considérée. Parmi les poissons les plus intéressants on note Protopterus dolloi, Lates niloticus, plusieurs espèces de Polypterus, d'Hydrocynus de Mormyrops. Plusieurs genres sont particuliers aux marais et petites rivières de la forêt zaïroise, comme les petits Characidae Tricuspidales et Clupeopetersius (Poll 1967).

Quelques espèces paraissent endémiques, par exemple Synodontis camelopardalis, S. longispinis, Barbus hulstaerti, Micralestes congicus, Neolebias philippe, etc. (Poll 1967, 1971).

10. Autres vertébrés

Les batraciens et les reptiles sont nombreux dans la zone des forêts inondées; on y rencontre notamment les trois crocodiles africains et particulièrement le petit Osteolaemus tetraspis, propre à la grande forêt équatoriale (de Witte 1951).

Plus de 350 espèces d'oiseaux ont été signalés dans la zone considérée. A côté d'oiseaux typiquement forestiers comme les calaos, les touracos, les perroquets, des bulbuls ou des souimangas, on note de nombreuses espèces liées à l'eau comme le cormoran africain Phalacrocorax africanus, l'oiseau serpent Anhinga rufa, le pélican gris Pelecanus rufescens, une quinzaine de hérons, divers anatidés, l'aigle pêcheur africain Haliaeetus vocifer clamans, le bec-en-ciseaux Rhynchops flavirostris, le grébifoulque du Cameroun Podica senegalensis camerunensis, des limicoles, des martins-pêcheurs, etc. (Schouteden 1961).

Parmi les nombreux mammifères intéressants de la région, on peut citer les singes cercopithèques, colobes, chimpanzés, souvent représentés par des espèces différentes sur les deux rives du fleuve Zaïre; les grands ongulés sont parfois représentés par des races naines, comme le buffle nain Syncerus nanus ou l'éléphant nain Loxodonta cyclotis pumilio; les quelques mammifères aquatiques (deux loutres Lutra maculicollis et Aonyx congica, le potamogale, l'hippopotame) sont des animaux largement distribués dans toute l'Afrique centrale.

11. Activités humaines et aménagement

Pour l'ensemble de la zone considérée, la densité de la population est faible et n'atteint par quatre habitants par km². Cette population est très irrégulièrement répartie: on note deux secteurs à plus forte densité de population (jusque 15 hab./km²) aux environs de Mbandaka, le long du fleuve entre Mbandaka et Irebu et dans une large zone à l'est du lac Tumba, alors que de vastes zones sont pratiquement désertes, avec moins d'un habitant par km², entre le Zaïre et l'Ubangi, entre le Zaïre et la Lulonga, le long du Ruki et de la Busira.

La zone étudiée ne compte qu'une seule ville importante, Mbandaka, chef-lieu de la Région de l'Equateur, 135 000 habitants. La plus grande partie de la population est rurale et vit dans des localités de moins de 1000 habitants (Gourou 1960).

La zone ne compte pratiquement pas d'industries, si ce n'est quelques huileries, rizeries et scieries.

On ne possède pas de données quantitatives sur les résultats de la pêche dans cette région; elle serait assez active dans le fleuve Zaïre et dans les grandes rivières. On constate cependant une régression due surtout au manque d'équipement adéquat (Luvuande Wosey 1983).

Le réseau routier est peu développé; quelques routes parcourent les interfluvés, parfois sur des digues pour échapper aux inondations. Par contre, la navigation est importante sur le fleuve et les grandes rivières, la voie fluviale étant la seule possible pour exporter les diverses productions de la région (huile de palme, riz, café, caoutchouc, bois) (Lederer 1976).

Aucun territoire de la région considérée ne jouit d'un statut spécial de protection, le Parc National de la Salonga-Monkoto, situé à l'E du 20°E renferme des exemples de la plupart des paysages forestiers marécageux de la Cuvette zaïroise, mais sa végétation appartient

surtout au groupe des forêts de terre ferme. D'autre part, il a été suggéré de protéger, en tant que frayères, les marais de la Ngiri et les régions inondées situées entre les lacs Tumba et Mai Ndombe (Matthes 1964).

7.6. LAC TUMBA/LAKE TUMBA

1. Géographie et Morphologie (fig. 7.8)

Situation: Zaïre, Région de l'Equateur, à proximité du fleuve Zaïre dans lequel il se déverse par le chenal d'Irebu; $0^{\circ}45'$ S et 18° E.

Altitude: 325 m.

Superficie du bassin versant: 7 380 km².

Superficie du lac: 765 km².

Paysages: Le lac a la forme d'un triangle dont la base serait la rive N. Sa profondeur est faible, elle croît du S au N, de 3 m au S de Mabali à 8 m à l'entrée du chenal d'Irebu. Les rives sont très découpées, souvent abruptes, la profondeur maximale se situant près de la rive. Les rives sont le plus souvent couvertes de forêts de terre ferme, parfois de forêts marécageuses ou inondées; à quelques endroits la végétation forestière fait place à une clairière herbeuse plus ou moins inondée "esobe". Le lac compte quelques îles moyennes ou petites, en plus des étendues de terre, parfois importantes, isolées par des chenaux à l'embouchure en delta de plusieurs rivières.

2. Géologie (Deuse 1960, Marlier 1958, Lepersonne 1974)

La partie NW du lac repose sur des couches alluvionnaires récentes d'âge holocène tandis que les rives E et S sont formées de couches pleistocènes et pliocènes; le fond du lac est constitué par une épaisse couche de kaolin qui se prolonge sous les rives. Sur la rive E, cette couche est recouverte d'une épaisse cuirasse pseudolatéritique (alios) qui s'interrompt brutalement au bord de l'eau, formant une falaise rocheuse abrupte, haute de plusieurs mètres, ou qui glisse en pente douce sous les eaux. Ailleurs, la rive est constituée d'une plage de limon sableux, très fin, auquel sont agglomérés des détritiques organiques provenant de la forêt voisine.

3. Climatologie (Bultot 1971-77, Deuse 1960)

Climat: Afi (Köppen)

Insolation: Moyenne annuelle, un peu plus de 2000 h. année⁻¹ soit 140-160 heures par mois.

Rayonnement solaire global incident: Moyenne annuelle 133 kcal. cm⁻². année⁻¹, soit $15,2 \cdot 10^6$ J.m⁻².d⁻¹.

Bilan du rayonnement terrestre: Moyenne annuelle 32 kcal. cm⁻². année⁻¹, soit $3,7 \cdot 10^6$ J.m⁻².d⁻¹; maximum en juillet-août (bilan

journ. moy. $4,2.10^6 \text{ J.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$), inférieur à cette valeur le reste de l'année.

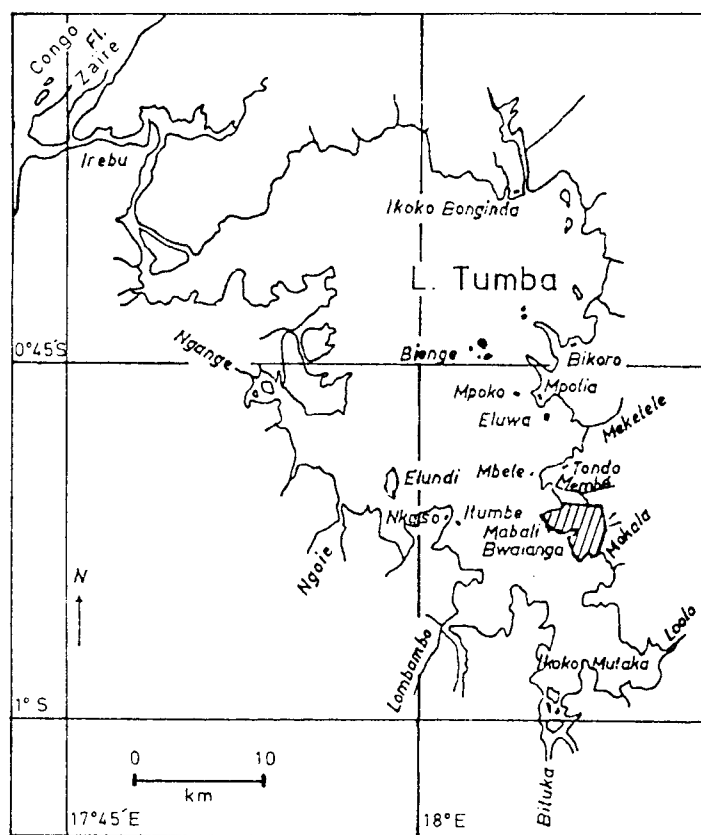


Fig. 7.8. Contour du lac Tumba (redessiné d'après Deuse 1960).
Le territoire hachuré représente le domaine de la Station
I.R.S.A.C. de Mabali.

Bilan du rayonnement global: Moyenne annuelle $74 \text{ kcal. cm}^{-2}.$ année⁻¹, soit $8,5.10^6 \text{ J.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$; max. en mars-avril (bilan journ. moy. $9,6.10^6 \text{ J.m}^{-2}$); min. en juillet-août (bilan journ. moy. $6,7.10^6 \text{ J.m}^{-2}$).

Régime des vents: En moyenne, vent de 4 km/h. le matin, augmentant progressivement jusqu'à 8 km/h. à midi, pour diminuer ensuite jusqu'à 3-4 km/h. le soir; assez régulièrement du S aux basses eaux et du NW aux hautes eaux, avec à cette période des coups plus violents et plus irréguliers du SW provoquant des tempêtes soudaines, parfois très violentes.

Pluviométrie (fig.7.2): Moyenne annuelle 1800 mm; maximum en octobre-novembre (200-220 mm), minimum en juillet (70 mm). On peut distinguer deux périodes pluvieuses (septembre-décembre et février-mai) séparées par des périodes de moindre pluviosité (janvier et surtout juin-août).

Evaporation: Evapotranspiration potentielle gazon, moy. ann. 1050 mm; évapotranspiration réelle gazon, moy. ann. 1040 mm; évaporation estimée du lac, environ 1300 mm. Humidité relative moyenne élevée, comprise entre 80 et 90% tout au long de l'année, avec un minimum journalier entre 12 et 16 h.

Indice radiatif d'aridité de Budyko: Env. 0,67.

Température de l'air (fig.7.2): Moyenne annuelle 25,5°C; très constante au cours de l'année: maximum en mars-avril (moy. vraie 25,5°, moy. max. journ. 31,5°, moy. min. journ. 21,5°C), minimum en juillet (moy. vraie 24,5°, moy. max. journ. 29,5°, moy. min. journ. 21°C).

4. Hydrologie et Hydrographie (Marlier 1960)

Le lac est du type "lac latéral" de Hutchinson. Il semble s'être formé assez récemment par obstruction de l'embouchure d'une rivière par les sédiments du fleuve Zaïre et inondation ultérieure de son bassin. Il est alimenté par une série de rivières d'importances diverses drainant une région basse de forêts marécageuses ou périodiquement inondées. Il est en communication avec le fleuve Zaïre par le chenal d'Irebu, long de 35 km; même aux hautes eaux du fleuve, l'eau se dirigerait toujours du lac vers le fleuve.

On observe deux crues annuelles séparées par deux décrues, comme dans le fleuve Zaïre. La crue principale a lieu en novembre-décembre, suivie de la décrue principale (janvier-mars) puis de la petite crue (avril-juin) et enfin de la petite décrue (juillet).

Les variations annuelles du niveau du lac peuvent dépasser 4 m; on note également d'importantes variations interannuelles.

5. Caractéristiques physiques et chimiques des eaux (Marlier 1960)

Température: La température varie de 26 à 33 °C et est pratiquement constante sur toute la profondeur; il n'y a donc pas de stratification.

Transparence: Assez faible, de 0,9-1 m au large et 0,75 près des rives (disque de Secchi).

Caractéristiques chimiques des eaux (Dubois 1959): L'eau du lac est du type des eaux humiques acides brunes, à pH très bas (4,5 à 4,9). La salinité est très faible, de l'ordre de 30-35 mg/l; la conductivité est de l'ordre de $24-32 \cdot 10^{-6} \text{ S.cm}^{-1}$. La dureté totale est très faible (0,3° fr.). Par contre la teneur en matières organiques du type humique peut être considérée comme très élevée, correspondant à environ 30 mg C organique/l. L'oxygène dissous est présent et même abondant dans toute la colonne et à tous les moments de l'année, mais la saturation n'est jamais atteinte, (4-6 mg/l soit 50 à 70% de la saturation en moyenne, mais plus de 80% en surface pendant la saison sèche).

6. Macrophytes

Dans les anses calmes et les fonds de baie, l'eau du lac est couverte d'une prairie flottante à Echinochloa pyramidalis et Panicum parvifolium qui passe, vers la rive, à une prairie à Jardinea congoënsis, J. gabonensis et Vossia cuspidata où peuvent s'installer Cyrtosperma senegalense et Rhynchospora corymbosa (Deuse 1960). Ces prairies peuvent s'étendre vers le large jusqu'à plus de 100 m de la rive; leur dislocation par les vagues donne naissance à des îles flottantes qui, poussées par le vent, s'échouent en d'autres points de la berge pour constituer ainsi le point de départ d'une nouvelle prairie aquatique (Bouillenne et al. 1955). Le contact entre la prairie et la végétation des berges ou la forêt marécageuse est marqué par le développement d'une Mélastomatacée arbustive, Dissotis segregata. Là où la rive est abrupte, au pied de la falaise dans la bande de terrain qui n'est exondée qu'à l'étiage, on trouve un groupement forestier ripicole caractérisé par Irvingia smithii, suivi par Alchornea cordifolia et Cynometra schlechteri; un peu plus haut, mais toujours dans la zone de balancement du niveau des eaux, on trouve Guibourtia demeusei, Uapaca heudelotii et d'autres caractéristiques des forêts périodiquement inondées.

Les rives marécageuses en pente douce et particulièrement les embouchures de rivières sont colonisées par une forêt à Oubanguia laurentii derrière un rideau de palmiers-lianes Eremospatha macrocarpa. Cette forêt se mélange rapidement de Guibourtia demeusei et d'Uapaca heudelotii dès que le sol est périodiquement exondé. Au-delà de la limite des inondations commence le domaine de la grande forêt de terre ferme (Bouillenne et al. 1955).

Des mares d'eau libre apparaissent dans les prairies flottantes, dans les berges herbeuses ou encore dans la forêt marécageuse; elles sont souvent colonisées par une association à Nymphaea lotus et Utricularia benjaminiana (Deuse 1960).

La jacinthe d'eau, entraînée dans le lac par les bateaux ou à l'occasion de fortes crues du fleuve, ne semble pas s'y développer, à cause de l'acidité de l'eau (Berg 1961).

7. Phytoplancton

On ne connaît rien du phytoplancton ni des algues du lac Tumba; le phytoplancton serait fort peu abondant, et les poissons dépendraient beaucoup plus, pour leur nourriture, des apports extérieurs en provenance des forêts riveraines que d'une production primaire presque insignifiante (Marlier 1960, Matthès 1964).

8. Invertébrés

La faune est rare au milieu du lac; on y trouve cependant en abondance un cilié colonial endémique, Gonzeella coloniaris. Elle est nettement plus abondante dans la zone littorale, particulièrement dans les prairies flottantes. Les méduses et les mollusques manquent complètement. Parmi les crustacés, Palaemon lenzii est assez abondant

pour faire l'objet d'une petite pêche indigène. La grosse masse des insectes est représentée par l'éphémère Povilla adusta (Marlier 1960); quelques trichoptères, dont les larves pullulent dans la prairie flottante, ont été décrits du lac Tumba et y sont peut-être endémiques (Marlier 1958). Un grand dytique carnivore du genre Cybister est capable de s'attaquer aux poissons (Matthès 1964).

9. Poissons (Matthès 1964)

Le nombre de poissons signalés du lac Tumba s'élève à 119; huit de ces espèces n'entrent dans le lac qu'à la faveur de crues exceptionnelles du fleuve Zaïre et ne s'y développent pas normalement.

Dans les eaux libres, on trouve des bancs, parfois énormes, de petits poissons planctonophages des genres Barbus, Clupeopetersius, Microthrissa, suivis de prédateurs comme Odaxothrissa losera, Mormyrops deliciosus, Hydrocynus, etc.

De nombreuses espèces pélophages, détritiphages ou entomophages se nourrissent sur le fond et sont à leur tour la proie de carnivores ichthyophages des genres Polypterus, Mormyrops, Chrysichthys, Malopterurus.

Les herbiers des anses calmes avec leur faune abondante d'invertébrés attirent un grand nombre de poissons, herbivores, omnivores, entomophages, carcinophages, détritiphages mais aussi un bon nombre de prédateurs ichthyophages. Un groupe particulier de prédateurs, bien représenté au lac Tumba où il constitue une menace pour la faune d'intérêt économique, est celui des mangeurs de nageoires, poissons des genres Belonophago, Phago et Eugnathichthys qui se nourrissent exclusivement de nageoires arrachées d'un coup de dents aux autres poissons.

L'endémisme est faible et seuls Clupeopetersius schoutedeni, Clarias congicus, Eutropius tumbanus, Lamprologus congolensis tumbanus et Tylochromis lateralis microdon ont une distribution limitée au lac ou à ses environs immédiats.

Les estimations de la production annuelle des poissons du lac Tumba varient entre 2000 tonnes (Matthès 1964) et 3500 tonnes (Luvuande Wosey 1983).

10. Autres vertébrés

Les amphibiens et leurs têtards hantent surtout les prairies aquatiques près des rives. Les reptiles sont représentés par des crocodiles, Crocodylus niloticus et surtout C. cataphractus, des tortues Amyda, des serpents dont le naja d'eau Boulengerina annulata. Parmi les oiseaux qui dépendent du lac pour leur nourriture, on peut citer le cormoran africain Phalacrocorax africanus, l'oiseau serpent Anhinga rufa, l'aigle pêcheur Haliaetus vocifer clamans, des hérons, des martins-pêcheurs, des mouettes, des pluviers, etc.

Quelques mammifères jouent un rôle dans l'écosystème: ce sont souvent

les loutres (ichthyophages) et le potomogale qui se nourrit essentiellement de crustacés, mais aussi de petits poissons ou de batraciens.

11. Activités humaines et aménagement

La densité de la population est assez élevée, nettement supérieure à la moyenne de la cuvette zaïroise, dans la région située à l'E du lac, où elle atteint des valeurs de 12 à 15 habitants par km^{-2} , avec le chef-lieu Bikoro qui compte plus de 1000 habitants et quelques agglomérations assez importantes à proximité du lac. Par contre la rive W est pratiquement déserte, avec des populations dont la densité ne dépasse pas trois habitants par km^2 (Gourou 1960).

La population du secteur du lac Tumba compte moins de 10 000 habitants, dont plus de 8 500 vivent en milieu coutumier. Une partie de cette population est occupée dans les plantations voisines du lac; les cultures vitrières prennent aussi une bonne part du temps, mais pour beaucoup la pêche est l'occupation principale. Ces dernières années, la quantité de poisson pêchée dans le lac a varié entre 500 et 600 tonnes dont une bonne partie sont exportées vers Mbandaka et Kinshasa. Cela reste bien en-dessous de la productivité annuelle estimée à 2000 tonnes (Matthès 1960) ou à 3500 tonnes (Luvuande Wosey 1983).

Les espèces principalement pêchées appartiennent aux genres Citharinus, Mormyrops, Chrysichthys, Eutropius, Clarias, Xenomystus. Malheureusement, les méthodes de pêche locales ne permettent pas de contrôler efficacement le nombre des grands prédateurs ichthyophages Hydrocynus, Chrysichthys, etc., ce qui crée un déséquilibre dans la structure des populations de poissons. Il conviendrait donc d'intensifier la pêche aux grands carnivores (poissons et crocodiles).

La navigation sur le lac est faible: un bateau-courrier relie Bikoro à Mbandaka tous les 21 jours; le trafic varie de 400 à 1200 tonnes par an à la montée et de 1300 à 1800 tonnes par an à la descente (Lederer 1973).

Aucune mesure n'est prise actuellement pour protéger la faune du lac, mais il a été proposé de protéger intégralement les baies et chenaux de la Bituka, de la Lobambo et de la Nganga, situées sur les côtés S et W, pratiquement inhabitées. Une telle protection constituerait une réserve suffisante pour une pêche rentable (Matthès 1964).

7.7. LAC MAI NDOMBE/LAKE MAI NDOMBE

1. Géographie et Morphologie (fig. 7.9)

Situation: Zaïre, Région de Bandundu; 18°20 E et 2° S.

Altitude: 300 m

Superficie du bassin versant: 67 680 km^2

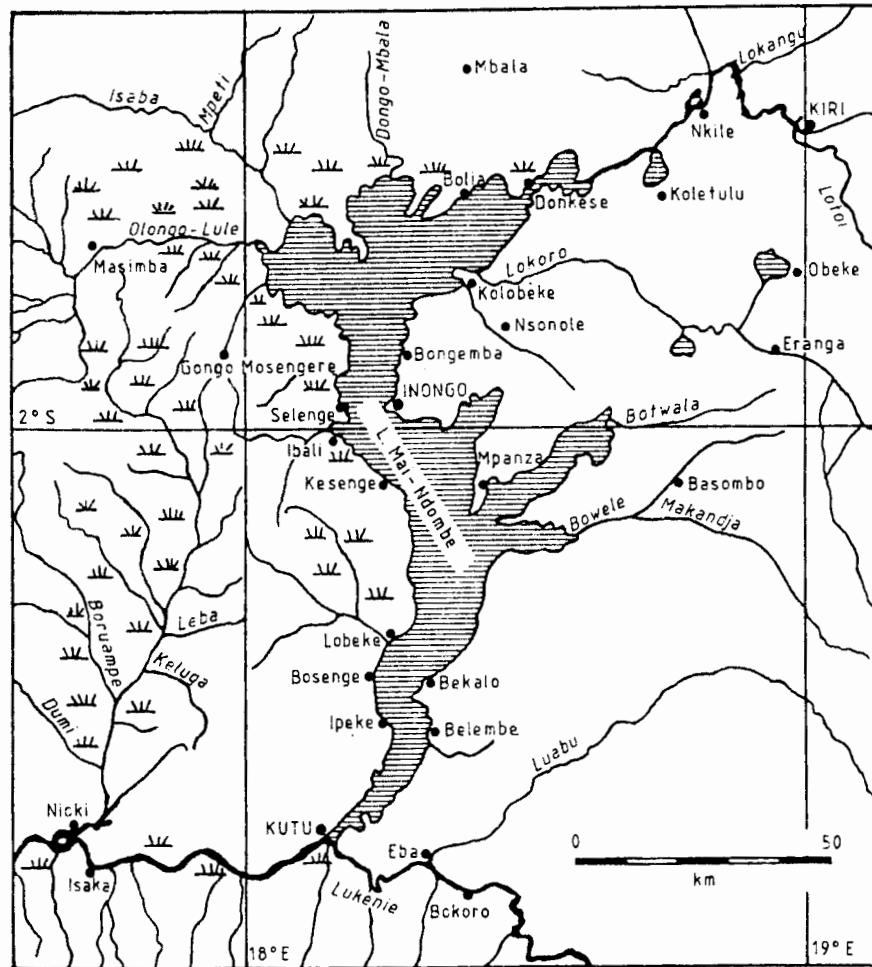


Fig. 7.9. Carte du lac Mai Ndombe (lac Léopold II).

Surface du lac: 2 300 km²

Paysages: Le lac s'allonge du N au S sur environ 140 km. Sa largeur diminue régulièrement de 60 km dans le N à 10 km dans le S. Il est entièrement inclus dans la zone forestière équatoriale; ses rives sont basses et, le plus souvent, couvertes de forêts. Les affluents du lac drainent principalement des forêts équatoriales, marécageuses ou de terre ferme. Sa profondeur est faible et peut être évaluée à environ 3 m en moyenne.

2. Géologie (Lepersonne 1974)

Les terrains qui bordent le lac Mai Ndombe au NW sont formés d'alluvions récentes, comme le fond des vallées de quelques affluents de la rive W; toute la côte E et une bonne partie du SW appartiennent à des couches plus anciennes, d'âge pleistocène ou pliocène.

3. Climatologie (Bultot 1971-1977)

Climat: Ami (Köppen) au N du lac et Awi dans la partie S.

Insolation: Durée moyenne annuelle 2100 h. année⁻¹, soit 140 à 185 h. par mois, avec un maximum en mai-juin et un minimum en novembre.

Rayonnement solaire global incident: Somme moyenne annuelle 127 kcal. cm⁻². année⁻¹ soit $14,5 \cdot 10^6$ J.m⁻².d⁻¹, assez constante au cours de l'année, mais avec cependant une assez nette diminution en juillet-août.

Evaporation: Evapotranspiration potentielle gazon, moy. ann. 1030 mm; évapotranspiration réelle gazon, moy. ann. 1030 mm; évaporation estimée du lac, moy. ann. 1356 mm; humidité relative moyenne de plus de 85% pendant la plus grande partie de l'année, comprise entre 80 et 85% de juin à septembre et même inférieure à 80% en août dans la partie S du lac.

Indice radiationnel d'aridité de Budyko: Env. 0,70.

Température de l'air (fig. 7.2): Moyenne annuelle 25,3°C, très constante au cours de l'année: maximum en mars (moy. vraie 25,9°, moy. max. journ. 30,9°, moy. min. journ. 22,4°), minimum en novembre (moy. vraie 24,7°, moy. max. journ. 29,4°, moy. min. journ. 21,1°).

Bilan du rayonnement terrestre: Moyenne annuelle, 35 kcal. cm⁻². année⁻¹, soit $4 \cdot 10^6$ J.m⁻². d⁻¹; supérieur à $4,2 \cdot 10^6$ J.m⁻².d⁻¹ de juin à septembre, inférieur à cette valeur d'octobre à mai.

Bilan du rayonnement global: Moyenne annuelle, 74 kcal. cm⁻². année⁻¹ soit $8,5 \cdot 10^6$ J.m⁻².d⁻¹; max. en mars-avril (bilan journ. moy. environ $9,6 \cdot 10^6$ J.m⁻²); min. en juillet-août (bilan journ. moy. env. $5,8 \cdot 10^6$ J.m⁻²).

Régime des vents: Les vents sont plutôt faibles; la vitesse moyenne annuelle du vent est inférieure à 3 km/h à 4 m de hauteur, la vitesse augmente dans la matinée pour atteindre un maximum vers midi et diminue

dans l'après-midi et la soirée. Sur le lac des coups de vent violents et imprévus ne sont pas rares.

Pluviométrie (fig. 7.2): Moyenne annuelle, 1700-1900 mm; maximum en octobre (225 mm); minimum en juillet (10-50 mm). Durée moyenne de la saison sèche: de 50 jours dans le N à près de 80 jours dans le S (juin-août).

4. Hydrologie et hydrographie

Le lac Mai Ndombe est alimenté par de nombreuses rivières drainant de vastes étendues de forêt équatoriale plus ou moins marécageuse; les plus importants de ces affluents sont la Lotoi et la Lokoro.

L'exutoire du lac rejoint à Kutu la Lukenie avec laquelle il forme la Fimi qui se jette à Mushie dans le Kasai pour former le Kwa, principal affluent de gauche du Zaïre. Les eaux noires du lac ne se mêlent pas directement aux eaux plus claires de la Lukenie et la Fimi est donc formée sur une certaine distance de deux rubans parallèles; de même, après le confluent avec le Kasai, les eaux de la Fimi forment sur une longue distance un ruban noir parallèle au ruban rougeâtre des eaux du Kasai (Nicolai 1973).

Le niveau du lac passe par un minimum en septembre; les hautes eaux se produisent de janvier à avril; la variation de niveau est d'un peu plus de 2 m à l'échelle annuelle; elle est du même ordre de grandeur à l'échelle interannuelle. La remontée des eaux en octobre-novembre serait due partiellement à la crue de la Lukenie dont les eaux reflueraient dans le lac jusque 50 km en amont de Kutu (Devroey 1939). Pour Nicolai (1972), cette observation n'est pas sûre: il se pourrait simplement que, comme dans le cas du Zaïre par rapport au lac Tumba, les eaux de crue gênent l'écoulement du lac et en relèvent le plan sans y pénétrer.

En se basant sur une profondeur moyenne de 3 m, on peut estimer le volume du lac à environ 7.10^9 m^3 en moyenne, variant de 4 à 10.10^9 m^3 avec la crue.

5. Caractéristiques physiques et chimiques des eaux

Température: Probablement assez élevée et de l'ordre de 28-30°.

Transparence: Assez faible, à cause de la forte charge en matière organique.

Caractéristiques chimiques: Ce sont des eaux humiques acides brun foncé, fortement colorées par les matières organiques en solution; le pH est de l'ordre de 4; la teneur en sels minéraux et la conductivité pourraient être du même ordre que celles du lac Tumba. Les eaux de la Lukenie qui remonteraient dans le lac de septembre à novembre sont un peu moins acides avec des pH d'environ 4,5.

La teneur en oxygène dissous, assez faible, n'atteint jamais la saturation, mais l'oxygène est présent dans toute la colonne.

6. Macrophytes

Le lac est complètement entouré de forêts équatoriales restées intactes, sauf aux alentours des agglomérations et sur la côte SW où existent d'importantes exploitations forestières. Suivant la nature du sol et la durée de l'inondation annuelle on trouve des forêts marécageuses, notamment à Raphia et à palmier-lianes, des forêts périodiquement inondées à Oubanguia africana et Guibourtia demeusei et divers types de forêts de terre ferme (De Bont 1969).

On ne connaît pratiquement rien des végétations herbeuses, aquatiques ou paludicoles du lac Mai Ndombe; elles ne semblent cependant pas couvrir de très grandes surfaces.

7. Phytoplancton

On ne connaît rien du phytoplancton du lac; sa concentration serait très faible et la production primaire serait insignifiante (De Bont 1969). Comme au lac Tumba, les apports extérieurs des forêts riveraines seraient bien plus importants que les apports endogènes du phytoplancton.

8. Invertébrés

Les invertébrés du lac Mai Ndombe n'ont jamais été étudiés systématiquement; le peu que nous en connaissons provient de récoltes occasionnelles et de rapports de voyageurs. Les crustacés seraient assez abondants (De Bont 1969) et une méduse d'eau douce Limnocrinia congoensis y aurait été observée (Schouteden 1924, Bouillon 1957).

9. Poissons

Il n'existe pas d'inventaire systématique récent des poissons du lac; nos connaissances à ce sujet sont encore très fragmentaires. Les seules collections un peu systématiques ont été rassemblées par Delhez et étudiées par Boulenger à la fin du siècle dernier; 41 espèces de poissons étaient connues du lac dès 1918 (Hagh et al. 1918), dont Marcusenius nigropinnis, Gnathonemus leopoldianus, Notopteris afer, Alestes bimaculatus. On a encore signalé des Citharinidae, des petits Clupeidae parfois très abondants, dont l'endémique Nannothrissa stewarti et un certain nombre de Characidae nains parmi lesquels les endémiques Alestopetersius leopoldianus et A. nigropterus. Les tributaires du lac seraient très poissonneux (De Bont 1969) et le potentiel de poisson du lac est estimé à 10 000 tonnes (Luvuande Wosey 1983). Une liste des principaux poissons du Kasai et de la Fimi aux environs de Mushie (Vleeschouwers 1946) peut donner une idée des espèces dans l'émissaire du lac.

10. Autres vertébrés

On peut trouver autour du lac les trois espèces de crocodiles africains (De Bont 1969), des tortues du genre Pelusios (Laurent 1965), de même que plusieurs serpents aquatiques.

La plupart des oiseaux aquatiques du centre africain s'y rencontrent, et notamment, une sous-espèce locale du petit martin-pêcheur à ventre blanc, Corythornis leucogaster leopoldi.

Les mammifères aquatiques sont représentés par l'hippopotame, le potomogale et des loutres. Une race naine de l'éléphant de forêt Loxodonta cyclotis pumilio, parfois appelé éléphant d'eau, a été observée sur ses rives.

11. Activités humaines et aménagement

La densité de la population autour du lac est faible, de l'ordre de quatre habitants par km² sur la rive N et à l'extrême S du lac (Kutu) mais inférieure à deux habitants par km² sur le reste du pourtour du lac. Les localités importantes sont Inongo, sur la rive E du lac et Kutu, au confluent du déversoir avec la Lukenie.

Longtemps, l'activité économique s'est limitée à la cueillette (caoutchouc, ivoire et surtout copal); cette activité en déclin n'a guère été relayée par le développement de la production agricole qui reste assez faible (Nicolaï 1972).

Les cultures principales sont le palmier à huile, tout autour du lac et le riz, surtout au SW. La côte SW avec les rives de la Fimi et de la Lukenie est le siège de grosses entreprises exploitant de très grandes surfaces de forêts dans une bande de 15 à 20 km à partir des rives.

Les populations locales se livrent à une pêche assez importante, variant annuellement entre 1000 et 1200 tonnes, ce qui reste bien en-dessous du potentiel estimé à 10 000 tonnes.

La navigation sur le lac est assez faible avec, en service courrier, un bateau tous les 28 jours. Le trafic des marchandises par bateau entre le lac et Kinshasa varie de 1000 à 5000 tonnes par an, à la montée comme à la descente (Lederer 1973).

7.8. POOL MALEBO ET ZONES HUMIDES ASSOCIEES/ MALEBO POOL AND ASSOCIATED WETLANDS

1. Géographie et Morphologie (fig. 7.10)

Situation: A la frontière entre le Zaïre, Région de Kinshasa, et le Congo, Préfecture de Brazzaville; 4°20 S, 15°30 E.

Altitude: 272 m

Superficie du bassin versant: 3 747 320 km²

Surface du Pool: 500 km²

Paysages: Le Pool Malebo est formé d'un élargissement du fleuve Zaïre, large de 25 km et long de plus de 35 km; il occupe le fond d'une cuvette entourée de collines dont l'altitude dépasse souvent 500 m. La

plaine alluviale comprise entre les rivières Ndjili et Nsele, au S du Pool, est en grande partie marécageuse et inondée aux hautes eaux; son altitude ne dépasse pas 280 m. La partie centrale du Pool est occupée par la grande île Mbamou (180 km²) en territoire congolais et par divers groupes d'îles plus petites, dont notamment l'archipel situé à l'embouchure de la Ndjili en territoire zaïrois. Toutes ces îles sont, au moins partiellement, inondées aux hautes eaux.

2. Géologie (Lepersonne 1974)

En amont du Pool Malebo, le fleuve creuse son lit dans des grès crétaciques indifférenciés; il vient buter, en aval de Kinshasa contre les roches plus résistantes du système de l'Inkisi et s'étale dans la cuvette sur les grès plus tendres, avant de forcer le passage par la première série des cataractes entre Kinshasa et Manyanga.

Les grandes vallées tributaires du Pool, la Ndjili et la Nsele, ainsi que la zone marécageuse située au bord du Pool entre ces deux rivières s'étendent sur des alluvions récentes; des couches d'alluvions plus anciennes, pleistocènes et pliocènes, apparaissent au niveau d'anciennes terrasses du fleuve.

3. Climatologie

Climat: Awi (Köppen); deux saisons principales: saison sèche, de juin à septembre; saison pluvieuse de septembre à juin.

Insolation: Moyenne annuelle: 1650-1700 h. année⁻¹; 125 à 150 h. par mois pendant toute l'année.

Rayonnement solaire global incident: Moyenne annuelle 130 kcal. cm⁻². année⁻¹ soit 14,9.10⁶ J.m⁻².d⁻¹, moyenne mensuelle plus élevée d'octobre à mai, moins élevée de juin à septembre.

Bilan du rayonnement terrestre: Moyenne annuelle 130 kcal. cm⁻². année⁻¹ soit 4,2.10⁶ J.m⁻² de juin à septembre, inférieur à cette valeur d'octobre à mai.

Bilan du rayonnement total: Moyenne annuelle 70 kcal. cm⁻². année⁻¹ soit 8.10⁶ J.m⁻².d⁻¹; min. en juillet (bilan journ. moy. 9,4.10⁶ J.m⁻²).

Régime des vents: En saison sèche, de juin à septembre, le vent souffle très régulièrement d'W et de SW, à ce moment sa fréquence atteint près de 70% du nombre de jours recensés; d'octobre à avril, ce courant d'W et de SW est toujours dominant, mais sa fréquence n'est plus que de 40%. A cette saison, la rencontre de ce courant d'W avec le courant équatorial humide d'E, permanent en altitude, détermine les précipitations (Pain 1975).

Pluviométrie (fig. 7.2): Moyenne annuelle 1400 mm; maximum en novembre (230 mm) et en mars-avril (200-225 mm). Durée moyenne de la saison sèche: 120 jours.

Evaporation et hygrométrie: Evapotranspiration potentielle gazon: moy.

ann. 1100 mm; évapotranspiration réelle gazon: moy. ann. 1000 mm; humidité relative moyenne: minimum de 75% en septembre, entre 80-85% le reste de l'année.

Indice radiationnel d'aridité de Budyko: Env. 0,80.

Température de l'air (fig. 7.2): Moyenne annuelle 24,6°C; maximum en mars-avril (moyenne vraie 25,8°C, moy. max. journ. 31,5°C, moy. min. journ. 22°C) minimum en juillet (moyenne vraie: 21,4° moy. max. journ. 26,8°C, moy. min. journ. 17,1°C).

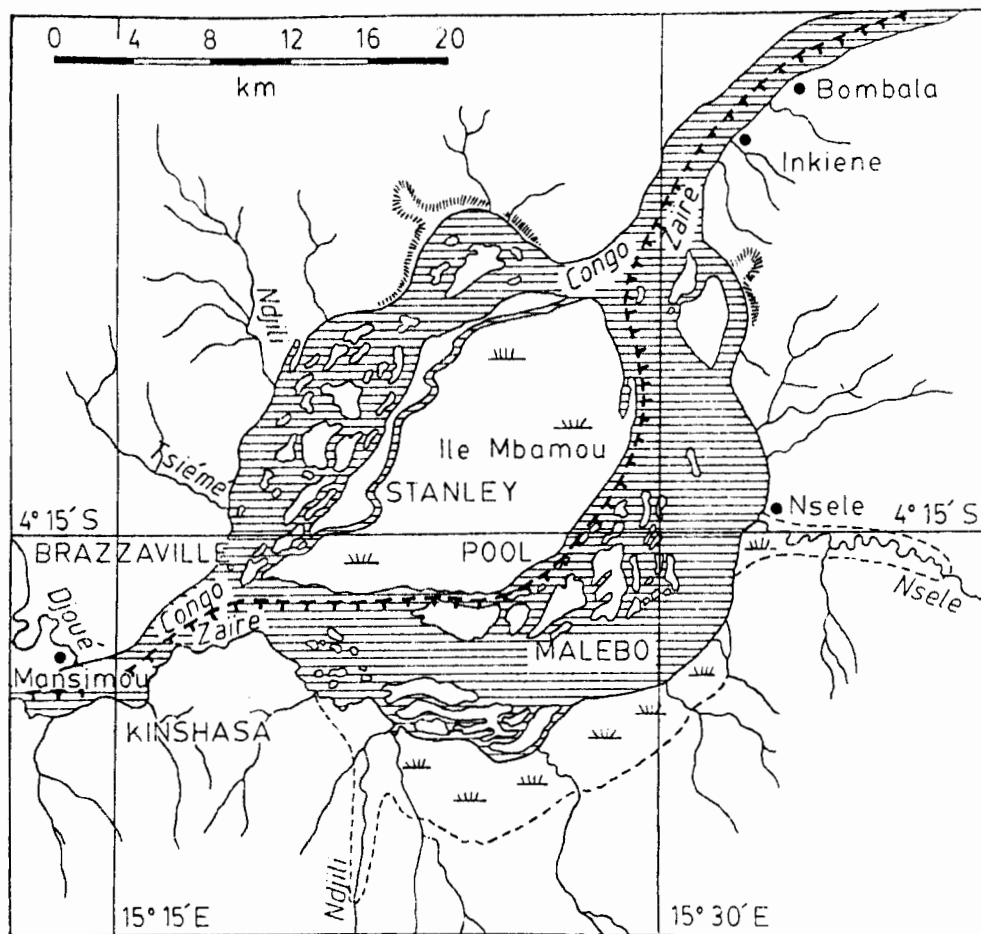


Fig. 7.10. Carte du Pool Malebo (Stanley Pool)

4. Hydrologie et hydrographie

Le Pool Malebo est un élargissement du fleuve Zaïre. Son débit moyen à Kinshasa-Est est de 39 500 m³/sec, variant en moyenne de 30 000 m³/sec en août à 54 000 m³/sec en décembre; les débits extrêmes enregistrés sont respectivement de 22 000 et de 75 000 m³/sec. Le courant est très variable, d'environ 5 km/h en moyenne; l'eau du Pool est donc constamment renouvelée, du moins dans les chenaux principaux. Le niveau varie annuellement d'environ 3 m entre les basses eaux, qui

ont lieu en juillet-août et les hautes eaux de novembre-décembre; on note un pic secondaire en mai. Les profondeurs sont faibles, de l'ordre de 3 à 10 m, rarement plus.

5. Caractéristiques physiques et chimiques des eaux

Température: 27,3°C en surface et 27,4°C à 3 m de profondeur le 15 septembre 1957, pour une température de l'air de 26,8°C (Poll 1959).

Transparence: Faible, de l'ordre de 50 cm au disque de Secchi, le 15 septembre 1957 (Poll 1959).

Caractéristiques chimiques des eaux:

Les eaux du Pool sont faiblement minéralisées. Des analyses mensuelles de l'eau à Kinshasa de décembre 1976 à novembre 1977 ont donné en moyenne: Ca, 2,23 mg/l; Mg, 0,86 mg/l; Na, 1,99 mg/l; K, 1,33 mg/l, HCO₃, 7,11 mg/l; SO₄, 2 mg/l; Cl, 2,71 mg/l; SiO₂, 9,7 mg/l. La conductivité était, en moyenne, de 31,5.10⁻⁶S.cm⁻¹ (Deronde & Symoens 1980). Une analyse de l'eau du Pool près de l'île Jipo, réalisée par Poll en 1957 donnait des résultats assez différents notamment pour Ca (14,4 mg/l), Cl (13 mg/l), SO₄ (8,6 mg/l) et HCO₃ (18,1 mg/l) et une minéralisation totale nettement plus forte.

Ces eaux sont faiblement acides à neutres, pH 6-7; par contre, l'eau des marais est plus acide, pH 4,8-5,3 tandis que celle du principal affluent, la Nsele, est franchement alcaline (pH 8,5).

L'oxygène est toujours présent dans toute la colonne; en septembre 1957, la teneur en oxygène était de 5,45 mg/l (Poll 1959).

6. Macrophytes

Les parties les plus basses des rives et des îles du Pool Malebo, inondées au moins temporairement lors des crues, portent des végétations aquatiques ou marécageuses, herbeuses ou forestières. A mesure qu'on s'éloigne de l'eau libre, on traverse plusieurs ceintures de végétation.

Ce sont d'abord des groupements aquatiques flottants à Pistia stratiotes et Salvinia nymhellula, supplantés depuis quelques dizaines d'années par Salvinia auriculata et surtout Eichhornia crassipes, envahisseurs récents agressifs, qui forment d'importantes populations et peuvent gêner considérablement la navigation. Dans les anses calmes se développent des végétations à Nymphaea lotus, N. maculata, Nymphoides forbesiana, Aponogeton subconjugatus, Trapa bispinosa, Utricularia, Cyperus, etc.

On trouve ensuite les prairies aquatiques qui peuvent occuper de grandes étendues le long des berges; on y rencontre surtout Vossia cuspidata, Echinochloa stagnina, E. pyramidalis, Oryza barthii, Neptunia prostrata, Ipomoea aquatica, etc.

Les rives marécageuses sont souvent occupées par de vastes roselières à Phragmites mauritianus, des prairies inondées à Jardinea congoënsis et Pobeguinia gabonensis, ainsi que par des peuplements de Cyperus papyrus. L'île Mbamou et la vallée de la Nsele abritent encore des forêts marécageuses ou périodiquement inondées à Mitragyna stipulosa et Symphonia globulifera, à Guibourtia demeusei et Oubanguia africana, ainsi que divers groupements ripicoles arbustifs à Alchornia cordifolia et Anthocleista liebrechtiana ou encore à Raphia et Eremospatha, à Uapaca heudelotii, à Mimosa pigra ou à Bridelia ripicola (Sita 1980).

7. Phytoplancton

Une liste d'une vingtaine d'algues (surtout desmidiées) croissant avec des Azolla au bord du Pool a été publiée à la fin du siècle dernier (De Wildeman 1889). Des récoltes récentes ont permis d'observer dans le plancton du fleuve Melosira granulata, plusieurs Pediastrum, des Scenedesmus, quelques desmidiées, d'assez nombreuses diatomées, mais très peu de Cyanophycées. Dans les marais à l'embouchure de la Ndjili, on a trouvé des algues filamenteuses, Oedogonium, Spirogyra, Anabaena, des desmidiées, des flagellés, Trachelomonas, Phacus, Euglena, des Chlorococcales, des diatomées, mais ici aussi peu de Cyanophycées. On ne connaît rien des biomasses et de la production primaire.

8. Invertébrés

Les invertébrés ont été bien étudiés au Pool Malebo et aux environs de Kinshasa. On y a signalé les éponges Potamolepis schoutedeni et Metania linostrongyla ainsi que la méduse Limnocyda congoënsis (Dartevelle 1949, Bouillon 1959). Les mollusques sont bien représentés: planorbes, bulins, Lanistes, Aetheria, Aspatharia; plusieurs espèces ont été décrites originellement des environs du Pool: Viviparus leopoldvillensis, Pila leopoldvillensis, Melanoides kinshasaënsis, Coelatum leopoldvillensis, etc. (Dartevelle 1950b).

Parmi les crustacés on relève des crevettes des genres Palaemon et Caridina et des crabes des genres Erimatops et Potamonautes dont l'endémique Potamonautes vandenbrandeni.

On a observé aussi des isopodes parasites de poissons, mais rien n'est encore connu des petits crustacés planctoniques (Dartevelle 1950b).

Les insectes les mieux étudiés sont les vecteurs de maladies tropicales, qui ne sont pas rares autour du Pool: moustiques, simuliés, glossines. Ainsi, on a pu dénombrer 64 espèces de moustiques de l'île Mbamou et de la rive congolaise du Pool (Grjébine et al. 1977).

D'autres groupes d'insectes aquatiques existent au Pool Malebo, parfois en abondance, mais les informations que nous avons à leur sujet proviennent de récoltes occasionnelles et de mentions éparses dans la littérature.

9. Poissons

Les poissons constituent sans aucun doute le groupe zoologique le plus étudié du Pool Malebo. Depuis les premières récoltes de Delhez (Boulenger 1898-1900) jusqu'à maintenant, on a dénombré plus de 235

espèces; beaucoup ont été décrites originellement du Pool et certaines y paraissent endémiques comme le poisson aveugle Caecomastacembelus, plusieurs Leptoglanis, Gymnallabes tihoni, Nannocharax gracilis, Parentropius mandevillei, Synodontis brichardi, Tetraodon duboisi. La famille la mieux représentée dans le Pool tant par le nombre des espèces que par l'abondance des individus est celle des Mormyridés qui compte 36 espèces parmi lesquelles des Petrocephalus, des Marcusenius, Gnathonemus greshoffi et Mormyrops deliciosus. On peut citer encore quelques Clupéidés dont Microthrissa royauxi et Poecilothrissa congica, des grands Characidés des genres Alestes, Bryconaethiops ou Hydrocynus, deux Cyprinidés particulièrement abondants, Barbus pleuropholis et Leptocypris modestus ainsi que des Bagridés caractéristiques des fonds meubles du fleuve comme Gephyroglanis longipinnis et Chrysichthys crantchi.

Dans les vastes marais qui bordent le Pool vivent Protopterus dolloi et P. aethiopicus, divers Polypterus, Phractolaemus ansorgei, des Micralestes, des Clarias, des Synodontis et plusieurs Tetraodon; plusieurs de ces poissons présentent des organes de respiration accessoires, adaptation aux eaux marécageuses parfois très peu oxygénées (Poll 1959).

10. Autres vertébrés

Les marais du Pool abritent une faune d'amphibiens, crapauds et grenouilles ainsi que des tortues, des crocodiles, et des serpents (Skelton-Bourgeois 1961). La faune ornithologique est abondante et variée; l'île Mbamou à elle seule en compte plus de 100 espèces (Dorest 1968). Parmi les mammifères, l'hippopotame a disparu mais les forêts marécageuses abritent encore des potamochères, des situtungas Limnotragus spekei, la mangouste des marais Atilax paludinosus et le rat de Bentley Dasymys bentleyae; deux loutres, Paraonyx congica et Lutra maculicollis, vivent dans les eaux calmes et les marécages (Sita 1980).

11. Activités humaines et aménagement

Deux grandes villes sont situées au bord du Pool: Brazzaville (300 000 habitants) à l'W, sur la rive congolaise et Kinshasa (3 000 000 habitants) au SW, sur la rive zaïroise. Toutes deux sont situées à l'W du Pool si bien que leurs effluents n'ont que peu d'influence sur la qualité des eaux. Par contre, ces populations nombreuses exercent une forte pression sur les paysages et les milieux naturels. C'est ainsi que les forêts de la basse vallée de la Ndjili ont dû faire place à des cultures maraîchères, et que de nombreux endroits échappant aux inondations ont été défrichés et lotis. Si l'habitat humain n'a guère pu empiéter sur les zones marécageuses soumises aux inondations, l'influence de l'homme se fait cependant sentir assez largement sur tout le Pool. Ainsi, la pêche s'est fortement développée et on peut estimer que les quantités de poissons pêchés annuellement dépassent 1000 à 1500 tonnes. La navigation est également fort intense, Kinshasa et Brazzaville étant respectivement tête de ligne pour les nombreuses voies navigables qui desservent les ports de l'intérieur du Zaïre et du Congo. Ainsi, plus d'un million de tonnes de marchandises transitent annuellement par le port de Kinshasa.

AFRIQUE AUSTRALE

Coordinateur

SOUTHERN AFRICA

Co-ordinator

J.S. MEPHAM

8.1 LAKE CHILWA

by J.S. MEPHAM

Lake Chilwa (Fig. 8.3) is a large shallow endorheic lake situated in a depression in S.E. Malawi. The lake has an important fishery, providing one third of the country's fish protein, and it is classified as an All lake in 'Project Aqua' (Luther & Rzoska 1971). It is bordered by wide areas of Typha swamp, sedge marshes and grass covered floodplain. The water level of the lake fluctuates considerably from wet to dry season, and from year to year, and occasionally (twice this century) it completely dries out. The last major recession was in 1968. The open water of the lake is very turbid and saline, supporting only a few specialised plant and animal species. In the swamps and marshes the water is less turbid, and environmental changes are less extreme, so that the biota is more diverse there. The fact that the lake dries out from time to time means that only well adapted organisms are able to survive. During such times interesting successions are seen, and organisms (e.g. Aeschynomene spp.) appear for limited periods and do not re-appear until the next major recession.

A full account of Lake Chilwa, including check-lists of the plants and animals found in the area, is given in: Kalk et al. (1979).

1. Geology

Most of the Chilwa basin is underlain by ancient metamorphic and igneous rocks of the Malawi Basin Complex, which are represented by a group of high grade metamorphic rocks, mostly charnockitic granulites of quartz and feldspar, and biotite gneisses. A series of Precambrian granitic and parthitic rocks are intruded into these gneisses and granites, which frequently form prominent hills. The Chilwa basin lacks the easily eroded Recent volcanic materials, ashes and tuffs, frequently found in other East African lake basins, and thus sedimentation rates are probably lower. A low carbonate level in the lake reflects the absence of extensive alkaline extrusive rocks. It is thought that Lake Chilwa underwent a change from an exorheic to an endorheic system only about 8-10 000 years ago.

The soil of the lake bed varies from extremely sandy in the north, to heavy water-sodden clays in the south. A thick layer of fine silt overlies the whole area of the lake.

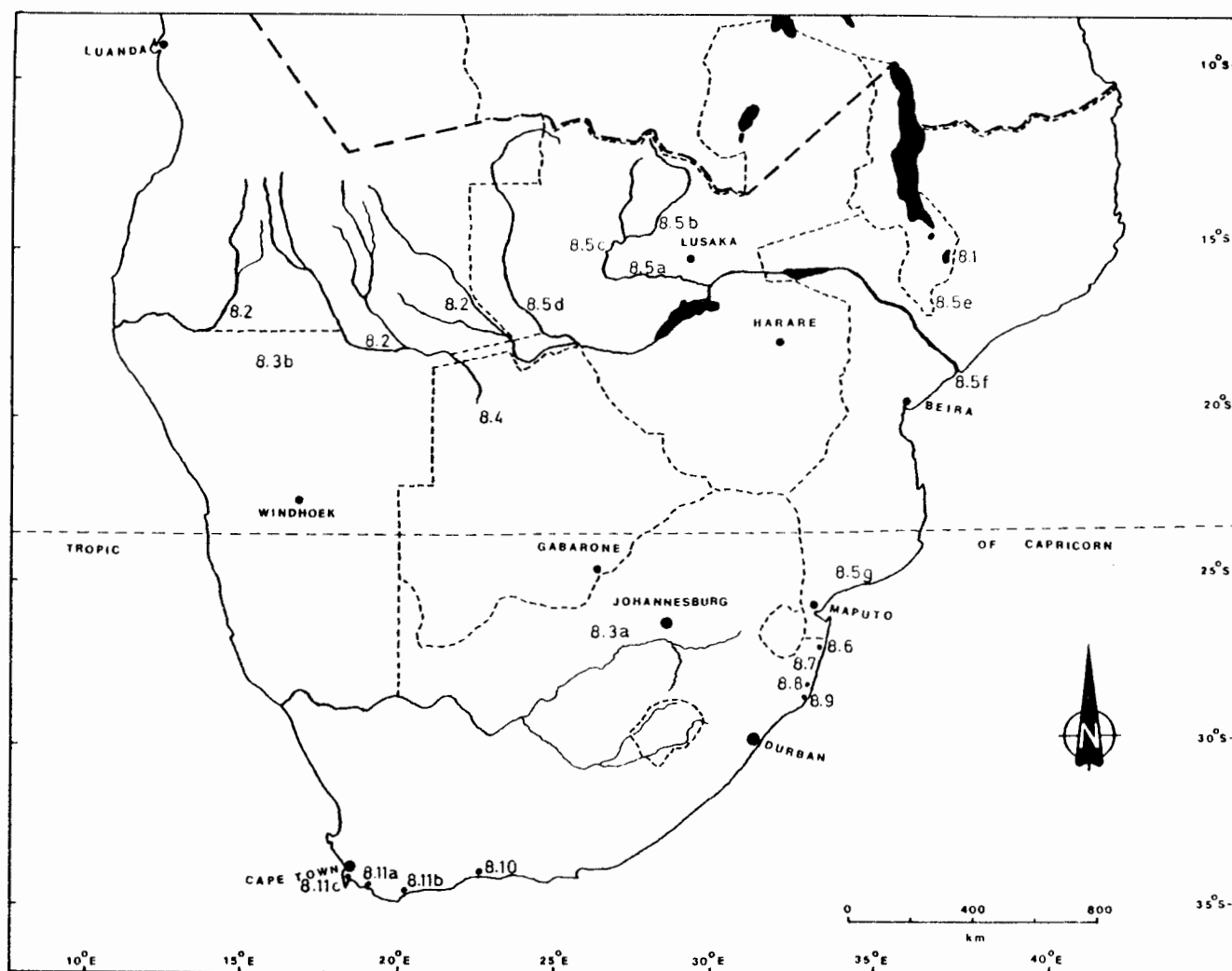


Fig. 8.1 Regional map showing the location of the systems treated in this chapter.

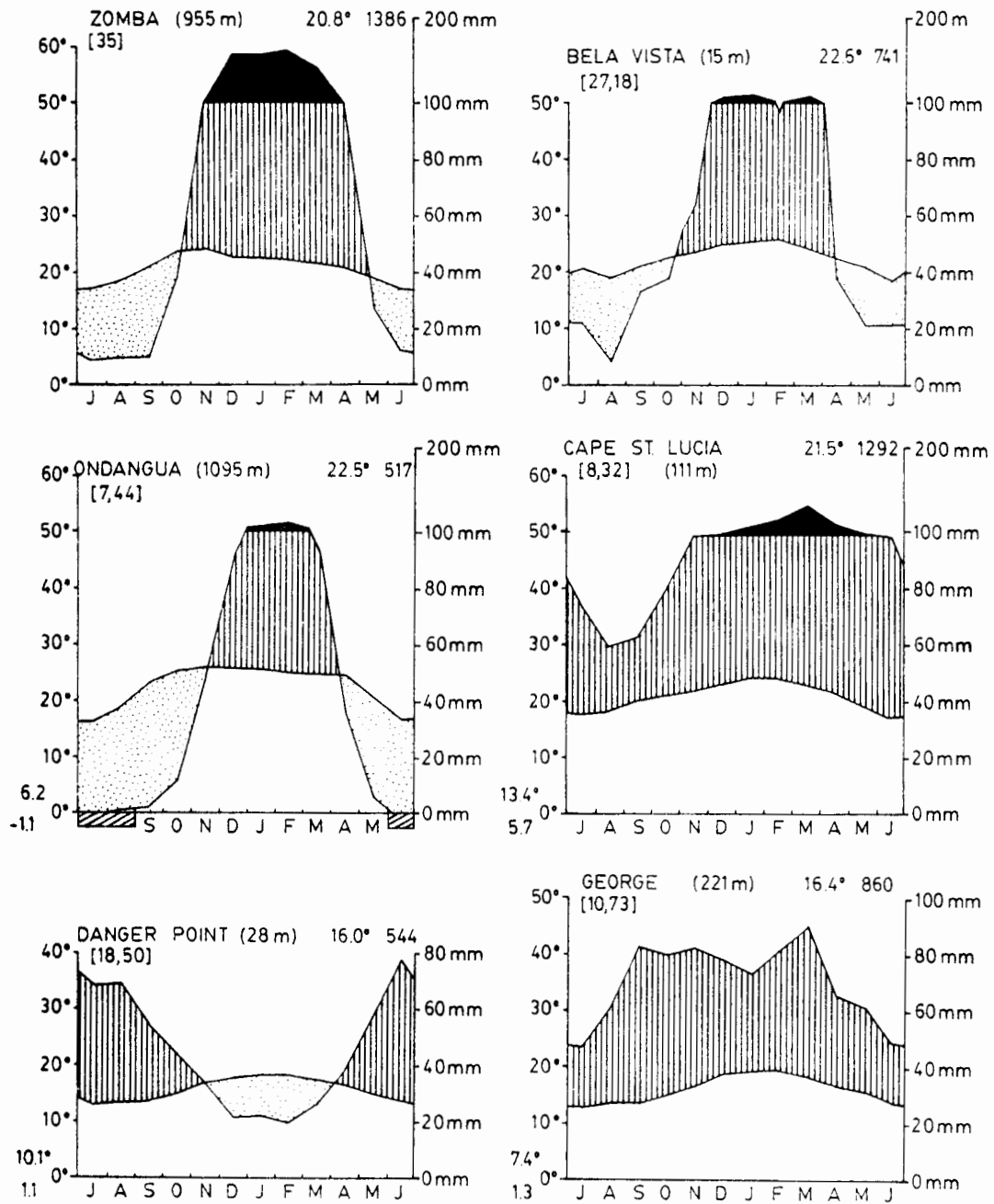


Fig. 8.2 Climatic diagrams for various stations in the regions of Southern Africa that are treated in this chapter.

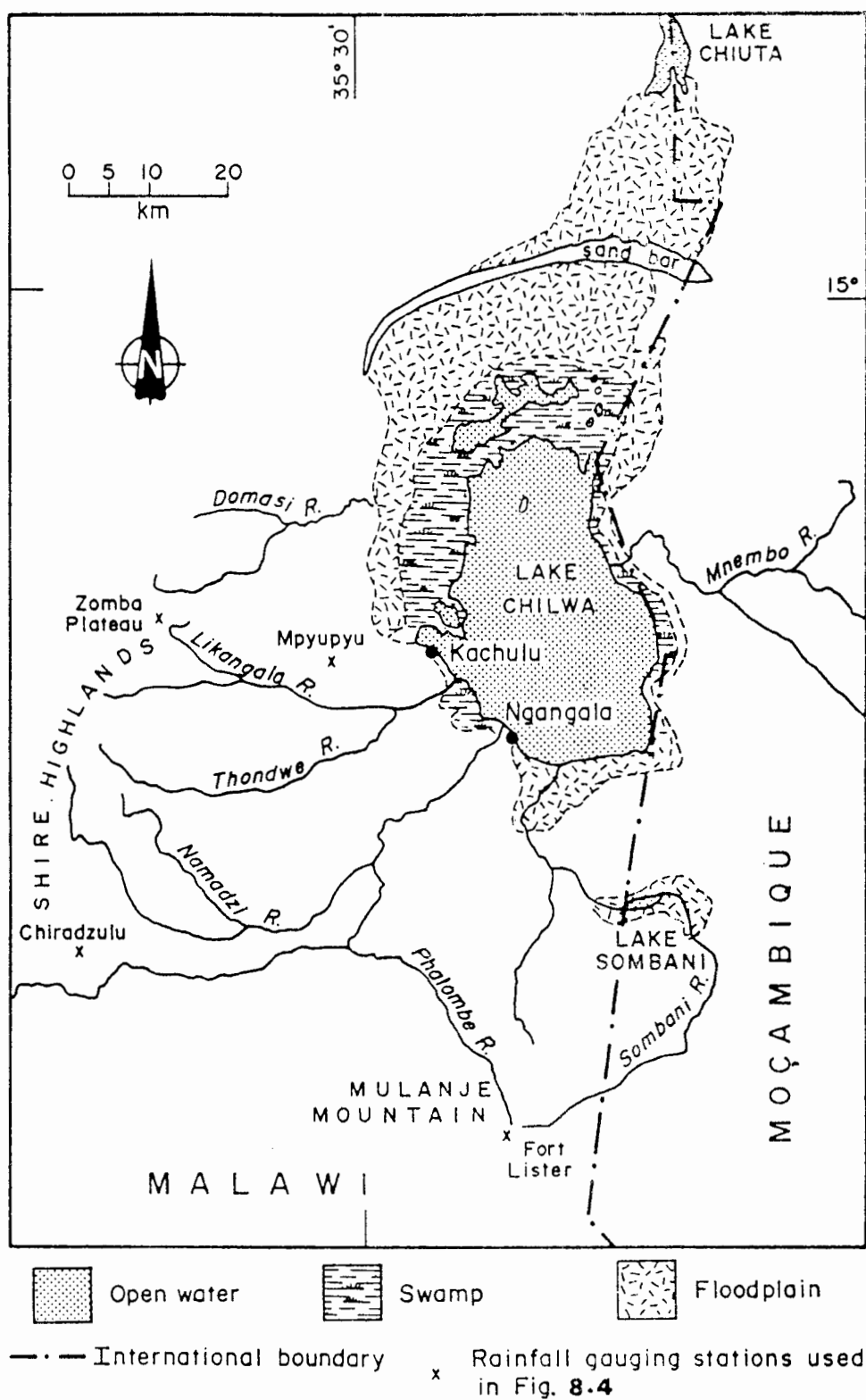


Fig. 8.3 Map of Lake Chilwa, showing important physical features.

2. Geography and morphology (Figure 8.3)

The Chilwa basin is approximately rectangular covering an area of about 7500 km², being 100 km across at its widest point and 160 km long in a N-S direction. It is bounded on the west by the Shire (Chir) Highlands which rise to 1200 m asl, to the south by a flattish marshy area interrupted by the Mulanje Massif (2000 to 2998 m asl), and to the east by a lower range of hills (900 m asl) in Mozambique. A sandbar only 25 m higher than the floodplain separates Lake Chilwa from Lake Chiuta in the north. Although Lake Chilwa is much smaller now than it has been in the past, five distinct lake terraces indicate that there have been long periods of stability. Seventy percent of the total inflow of water comes from five perennial streams, the Domasi, Likangala, Thondwe, Namadzi and Phalombe Rivers, which arise either in the Shire Highlands or the Zomba Mountains further north.

The present Lake Chilwa is roughly oval in shape, about 40 km from N to S and 30 km from W to E. There are several islands on the lake, two of which are inhabited. Nchisi Island, located near Kachulu on the western shore, is 4 km across and rises to 430 m above the level of the lake. The bed of the lake is covered by layers of fine clay which are easily stirred up by wave action, which occurs when strong winds blow across the lake.

Location: 15°30'S; 35°30'E.

Altitude: 622 m.a.sl. (mean for the 26 years 1950-1976)

Area: varies according to the level of the lake. In 1972, a fairly 'average' year, of a total area of 1850 km², open water occupied 678 km², swamps and marshes 578 km² and seasonally inundated grasslands 580 km².

Depth: In 1972 the deepest part of the lake was 2.6 m in the SW corner. The level of the lake fluctuates annually by 0.8-1.0 m, but larger fluctuations of 2-3 m occur over periods of 6 to 12 years, but occasionally the water dries out completely.

3. Climate

There is a strong seasonal pattern: May to September is cool with a little rain over high ground, September to November is hot and dry, and November to May hot and wet. The climatic diagram for Zomba is included in Fig. 8.2.

Type code: Aw₄a (Köppen)

Insolation:

highest months:	September, October	9-10 h. day ⁻¹
lowest months:	January, February	5.5-7 h. day ⁻¹

(taken from records for Mangochi at the southern end of Lake Malawi, and Makoka at the edge of the Shire Highlands for 1968-1976)

Solar Radiation:

highest months: Oct. Nov. (daily mean) $2.55 \text{ kJ. cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$
 lowest month: May (daily mean) $2.1 \text{ kJ. cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$
 (taken from Khanda, 10 km west of Kachulu on the lakeside from 1967-1971.)

Air Temperature:

annual mean 24°C
 hottest months: Oct. to Dec. (monthly means) $32-34^{\circ}\text{C}$
 coolest months: May to August (monthly means) $24-25^{\circ}\text{C}$

Wind: Predominantly from the east, blowing from N and NE from September to November, and from S and SE from March to September.

Rainfall: (unreliable, great annual variation)

annual mean (southern area) $800-900 \text{ mm.y}^{-1}$
 month of highest recorded (January) 325 mm.
 months of lowest recorded (July, August) 0 mm.

In the catchment area rainfall varies from 2000 mm.y^{-1} in the Mulanje and Zomba Mountains to $1100-1600 \text{ mm.y}^{-1}$ in the Shire Highlands.

Evaporation: (Class A Pan)

annual mean (1961-71) $1\,763 \text{ mm.y}^{-1}$ (at Kachulu)

Howard-Williams (pers. comm.) considers that evaporation from Lake Chilwa is 0.88 times pan evaporation, giving a value of 1551 mm.y^{-1} for 1961-71. Assuming that the rate of evaporation from the swamp is 60% that of open water, it has also been estimated that for the same period, the rate of evaporation from the swamp was 931 mm.y^{-1} . At Lake Chilwa evaporation is at its highest in October and November when solar radiation and temperatures are high, humidity is low, and winds are moderate.

4. Hydrography and hydrology

Lake Chilwa is endorheic, with water flowing in from the Shire Highlands and the Zomba Mountains to the west and northwest, and from hills in Mozambique to the east. The level of the lake normally shows seasonal fluctuations of about 1 m, with the lowest levels occurring in November and December, and the highest, at the end of the rainy season in March and April. Superimposed on this annual cycle is a much larger, long-term fluctuation of 2-3 m, which occasionally results in the lake drying completely. When inflow from the rivers exceeds evaporation from the lake and swamp, lake level rises, and *vice versa*. Lancaster (1979) has shown that variation in lake level is caused mainly by variation of rainfall in the catchment. Figure 8.4 shows the mean rainfall from four stations in the catchment compared with the lake level over the same period of time.

Mean discharge for main influent rivers (1961-71): ($\text{m}^3.\text{sec}^{-1}$)

River	February	October	annual mean
Sombani	7.31	0.09	2.23
Phalombe	2.90	0.08	1.03
Namadzi	0.54	0.07	0.24
Thondwe	4.60	0.14	2.56
Likangala	6.16	0.16	2.42
Domasi	5.71	0.20	2.10

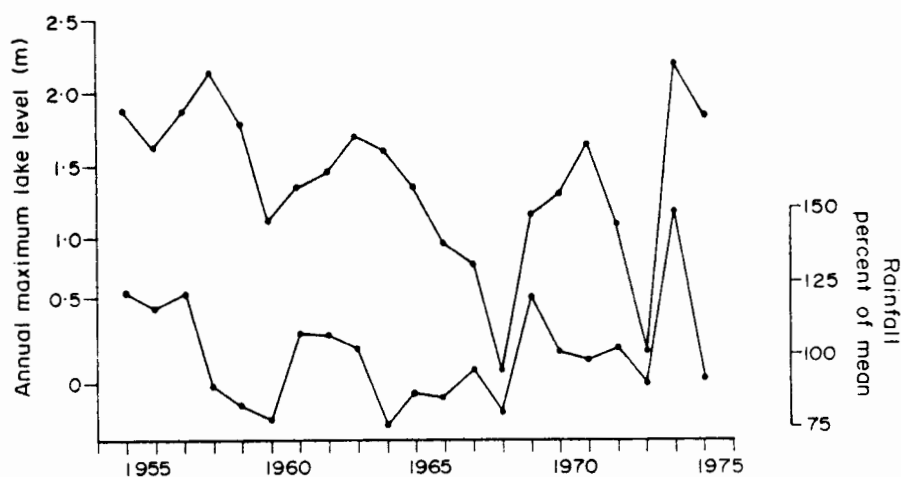


Fig. 8.4 Relationship between annual maximum lake level at Ngangata Harbour (upper line) and deviation from mean rainfall (lower line) at Fort Lister, Chiradzulu, Zomba Plateau and Mpyupyu (1951-75).

Mean of annual discharge into Lake Chilwa gauged rivers (1961-71):

	mean rate ($\text{m}^3.\text{sec}^{-1}$)	mean total annual influx 10^6 m^3
1961-62	11.67	368.0
1962-63	18.26	575.8
1963-64	9.43	297.4
1964-65	7.68	242.2
1965-66	5.90	186.1
1966-67	5.44	171.6
1967-68	3.30	104.1
1968-69	17.94	565.8
1969-70	12.30	387.9
1970-71	16.01	504.9
Mean	10.79	340.4

Although figures are not available for river flow from Mozambique, Lancaster (1979) has estimated a generalised water balance for the period 1961-1971 as:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{inflow + rainfall on lake} & = & \text{evaporation from lake and swamp} \\
 410 \text{ mm} & & 1303 \text{ mm} \\
 893 \text{ mm} & &
 \end{array}$$

The assumptions made by Lancaster in arriving at these figures are given in his paper in (Kalk et al 1979).

5. Physico-chemical characteristics of the water

The lake and swamp is a complex habitat showing horizontal, vertical and seasonal variations.

Horizontal variations in the waters of lake and swamp:

	pH	conduct- ivity 10^{-6} S.cm $^{-1}$	trans- parency %	PO $_4$ -P 10^{-6} g.l $^{-1}$	NO $_3$ -N 1^{-6} g.l $^{-1}$	oxygen mg.l $^{-1}$
open water	8.6	1200	56	990	120	5.5
mid-swamp	8.7	1250	58	924	52	1.14
land's edge of swamp	7.6	1000	90	33	50	0

Vertical variations in various swamp parameters:

temperature:	there is about a 3°C drop in temperature from the top of the vegetation to the water surface.
light:	at water level the light intensity is about 50-10% of that above the vegetation.
air flow:	at water level the air flow is about 18% of that above the vegetation.

Surface water characteristics in the open water of Lake Chilwa in a 'normal' year (1970): (- = not determined)

	February	July	December
depth (m)	2.05	1.55	1.0
conductivity (10^{-6} S.cm $^{-1}$)	800	1500	2500
pH	8.2	8.6	8.8
total alkalinity (meq.l $^{-1}$)	7.15	8.7	19.0
oxygen (mg.l $^{-1}$)	5.6	10.0	6.7
transparency (Secchi) (cm)	7.5	8.5	11.0
Na $^{+}$ (mg.l $^{-1}$)	189	350	780
K $^{+}$ (mg.l $^{-1}$)	14.0	10.5	23.1
Ca $^{2+}$ (mg.l $^{-1}$)	10.8	13.4	13.2
Mg $^{2+}$ (mg.l $^{-1}$)	6.4	6.3	8.6
Cl $^{-}$ (mg.l $^{-1}$)	182	277	515
PO $_4$ -P (10^{-6} g.l $^{-1}$)	1240	1214	2000
NO $_3$ -N (10^{-6} g.l $^{-1}$)	-	-	59

The conductivity of the lake water tends to remain fairly constant throughout the year, whereas in the swamp it tends to show an inverse relationship with the level of the water. However from December to February, the fall in conductivity is even greater than might be expected, and Howard-Williams (1979) suggests that fresh water from the rivers pushes all the water from the swamps into the lake, thereby causing a considerable water exchange.

As the swamp and floodplain dries, cattle move in and graze the vegetation. When flooding occurs again, many nutrients including nitrogen are released from the dry vegetation and animal dung.

6. Macrophytes

Lake: The very turbid waters of the lake keep it free from submerged vegetation. Occasional patches of the sedge Scirpus litoralis and the grass Paspalidium geminatum are found in the open water, and appear to be the only two species able to live in the deep water and to tolerate heavy wind and wave action.

When the lake last dried out, in 1966-68, only three species survived on the hot mud, the grass Diplachne fusca, the sedge Cyperus laevigatus, and the legume Aeschynomene pfundii. The mature plant of the latter species grows in water and can tolerate a wide range of salinities, but the seeds require a dry period for germination and the seedlings cannot grow under water. As a consequence this species had disappeared by 1973, when the lake had been full for several years.

Following the dry spell, small isolated areas supported a richer flora including: Diplachne fusca, Paspalidium geminatum, Vossia cupidata, Echinochloa pyramidalis, Aeschynomene pfundii, Aeschynomene nilotica, the floating stemmed plants Nymphaea spp., Ipomoea aquatica and Ludwigia stolonifera, and the submerged macrophytes Ottelia spp. and Nitella spp. (Howard-Williams 1979).

Swamp: Most of the swamps are dominated by pure stands of Typha domingensis. At the interface between lake and swamp a few free floating species are found, e.g. Pistia stratiotes, Ceratophyllum demersum, Utricularia spp. and various members of the Lemnaceae. In the wet season several species, e.g. Cyperus esculentus and Hibiscus cannabinus grow, flower and die within a few months. These are replaced by Panicum repens, Nymphaea caerulea and Utricularia spp. which then decline rapidly as water levels fall. Howard-Williams (1979) estimates the total littoral swamp production of Typha at $0.9 \times 10^6 \text{ t.y}^{-1}$ dry weight.

Swamp transition zone: This is a fairly broad area found to the north of the lake shore where the alkaline soils dry out during the dry season, but periodically get wetted by a rise in water level caused by southeasterly winds blowing over the lake (wind tides). The area is characterised by Cyperus laevigatus, Scirpus maritimus and the grasses Diplachne fusca and Panicum repens. Scattered clumps of Typha domingensis may also be seen.

Alkaline marsh: is found to the south of the lake where the heavy clay soils have a pH greater than 7.5. Here mixed swards of Vossia cuspidata and Cyperus longus occur, interspersed with Aeschynomene pfundii.

Neutral to acid marsh: is found on the west side of the lake where the only stands of Cyperus papyrus are found, opposite the mouths of the Likangala and Domasi Rivers. Here the soils have a pH of

5.0-7.0. The papyrus associations are surrounded by a zone of tall swamp grasses including Phragmites mauritianus, Echinochloa pyramidalis and Vossia cuspidata. Cyperus procerus and the floating grass Leersia hexandra are found in the area between the two rivers.

Floodplain grassland: surrounds almost the entire lake, the widest area being in the north. The plain is flooded for about 3 months per year. Dominant species include Hyparrhenia rufa, Cynodon dactylon, Sporobolus pyramidalis and Eragrostis gangetica (Howard-Williams 1979).

7. Algae

Lake: Before the lake dried out, during 1966-67, the lake water was dominated by a dense growth of the blue-green algae, Oscillatoria planctonica and Anabaena torulosa with only a few green algae present. During the dry phase the lake became very alkaline and saline, and was inhabited by large numbers of the species Arthrospira sp., Spirulina sp., and Anabaenopsis sp. When the water retreated, leaving hot saline mud, Oscillatoria spp., Nitzschia palea and Anomoeoneis sphaerophora appeared in patches. As the lake subsequently filled late in 1968 and in 1969, it became very turbid with suspended inorganic matter, and phytoplankton was scarce except for a neuston scum which formed a film on the surface. The presence of Euglena sanguina in this scum made it appear red in the late morning and mid-afternoon, but green later in the day. Other species in the scum included Tracheolomonas sp., Chlamydomonas sp., Eudorina sp., Platydictyon sp. and Pandorina sp. During and after the rains of 1969 a surface film of green algae was present, consisting mainly of members of the Chlorophyceae. By 1971-72 Anabaena sp. and Anabaenopsis sp. were again important. By 1977 there was a much richer flora including Oscillatoria sp., Tracheolomonas spp., Euglena spp., Phacus sp., Cyclotella sp., Nitzschia sp., Anabaena sp., Scenedesmus quadricauda and Peridinium sp. (Moss 1979).

Swamp: It appears that little systematic work has been done on the algae of the swamp, but Moss (1979) mentions that scrapings from Typha domingensis showed the periphyton community to be largely a mass of blue-green algae (Phormidium, Oscillatoria and Anabaena) with Chlorophyta (Spirogyra and Stigeoclonium) and diatoms (Cymbella, Nitzschia palea, Synedra and Eunotia) present.

8. Invertebrates

Zooplankton: Only 10 species of zooplankton are broadly tolerant of conditions found in the lake, and of these only three are numerous. Very small species are absent, and rotifers are not numerous in numbers nor in species. The three most robust species are the calanoid copepod Tropodiaptomus kraepelini and the cladocerans Diaphanosoma excisum and Daphnia barbata. Other Crustacea include Moina micrura, Ceriodaphnia cornuta, Alona sp. and the cyclopoid copepod Mesocyclops leuckarti (probably mis-identified. See Isabella Van de Velde, Revision of the African species of the genus Mesocyclops Sars, 1914 (Copepoda: Cyclopoidae). Hydrobiologia, 1984. 109 3-66. She maintains that Mesocyclops leuckarti does not occur

anywhere in Africa). Three rotifers Keratella tropica, Brachionus calyciflorus and Filinia (Tetramastix) opoliensis complete the list of dominant species. The paucity of species is attributed to the high turbidity, variable salinity and alkalinity, and the occasional drying of the lake. Most of these organisms do not exhibit regular diapause, but two years before the lake dried they started producing thick-walled eggs and cysts. When the lake started to fill again only a few specimens of Mesocyclops, Brachionus and Ceriodaphnia were found in very shallow water. During that year rotifers became more abundant than crustaceans, but thereafter there was a greater proportion of crustaceans (Kalk 1979).

Other Invertebrates: Lake Chilwa and its swamps provide two major substrates for invertebrates, the mud and the surfaces of the aquatic plants. Generally the mud is far too liquid to support any animals, so that the vegetation, both living and decaying, supplies the major habitat. Thus little benthic life is found under the open waters of the lake since the mud is soft and there are few aquatic macrophytes in the turbid waters.

During the last recession the partially dried mud supplied an important habitat for breeding chironomids, but when the mud completely dried all benthic fauna was obliterated and was replenished from the swamps when filling occurred.

When the lake was full, organisms found in the shallow waters at the edge included the dipterans Chironomus formosipennis, Nilodorum brevipalpis, Nilodorum brevibucca, and members of the Ceratopogonidae and Tipulidae, the trichopterans Dipseudopsis sp. and Economus sp., and the molluscs Lanistes ovum, Bulinus (=Physopsis) globosus and Biomphalaria sp. Of these, only Nilodorum brevibucca and Micronecta scutellaris survived drying.

However other species were found when the lake was dry; the chironomids Cryptochironomus neonilicola, Cryptochironomus styliifer, Dicrotendipes fusconatus, Clinotanypus claripennis and the coleopteran Berosus vitticollis (McLachlan 1979). Most of the invertebrates found in the swamps and marshes are associated with aquatic macrophytes. However, although Typha stands occupy the majority of the area there is a somewhat poor invertebrate standing crop. This is attributed to the shading of the water surface which prevents growth of epiphyton communities on the Typha stems. Small populations of midges are found, and occasional snails and leeches. Far more genera and species are found in the marshes. These include water beetles (e.g. Synchortus sp. and Hydrovatus sp.) and a few members of the amphibious snail Lanistes ovum. Leeches and the snail Bulinus globosus are also common.

The channels and lagoons of the swamp provide a more open habitat and molluscs, midges and beetles are readily found. Bulinus globosus is particularly common at the ends of canoe channels and around beached canoes.

Approximate dry weight of benthic fauna during the recovery phase of the lake (data from McLachlan 1974, 1975):

	Fauna (mean value) mg.m ⁻²	Area of habitat km ²	Fauna for whole lake kg
permanent swamp	300	600	180 000
temporary swamp	4000	80	320 000
mud of lake bed	3000	100	300 000
total		780	569 400

Insects of Economic Importance: The floodplains are used fairly extensively for the cultivation of rice which is subject to predation from stalk-eyed flies, lepidopterous stem borers and leaf eaters, and various beetles. The most important is the stalk-eyed dipteran Diopsis macrophthalma, whose larvae feed within the stem of the rice and cause yellowing of the terminal leaf, a condition known as 'dead heart'. Up to 10% of seedlings may be killed by these insects (Feijen 1979).

The floodplain grasslands provide one of the eight African 'outbreak areas' for swarming of the red locust Nomadacris septemfasciata. However it has not occurred recently and it is now considered a low grade outbreak area. The last plague originating here occurred from 1930-45 (Brown 1979).

The grasslands of the floodplain are heavily grazed by domestic cattle where dung beetles (Scarabaeidae) are important for burying dung and helping to recycle organic nutrients. The most successful and aggressive species include Onthophagus depressus, Onthophagus gazella, Euoniticellus intermedius, Liatongus militaris and Sisyphus sp. (Dudley 1979).

9. Fish

The open water community is dominated by three species of fish; Barbus paludinosus, known locally as minnow or 'maremba', Clarias gariepinus (= C. mossambicus) called catfish or 'mlamba' and Sarotherodon shiranus, a mouth brooding cichlid known as 'makumba'. These three have an omnivorous diet which includes filamentous and non-filamentous green algae, blue-green algae, diatoms, detritus from higher plants, zooplankton (crustaceans and rotifers), gastropods, aquatic and terrestrial insects, fish eggs and fish. The food taken varies according to the size of the predator and the availability of the food. During recessions of the lake these fish migrate into the swamps where they take refuge in lagoons and streams. In addition Clarias is anatomically and physiologically adapted to withstand desiccation and to tolerate high conductivity of the water in which it lives. It is also able to move over the surface of the mud supporting itself on its spiny fins. These three species are most important in terms of protein for the people of the Lake Chilwa area, and estimates are available for catches over a number of years, including times of drought and high water. A selection of these are given below.

Total fish landings from Lake Chilwa and swamps and percentage relative proportion of Sarotherodon shiranus, Barbus paludinosus and Clarias gariepinus:

year	mean depth (m)	total mass t.	<u>Sarotherodon</u> % of total	<u>Barbus</u> % of total	<u>Clarias</u> % of total
1965	1.08	8 820	48	26	26
1968	0	97	4	7	89
1970	1.05	4 166	8	35	57
1973	0.02	1 903	?	?	?
1976	2.00	19 746	14	52	34

The figures for 1976 not only reflect increased productivity after the recession of water during the years 1966-68, and the minor recession of 1973, but also improved methods of assessment. The catch for that year represents 159 kg ha⁻¹ y⁻¹ for Lake Chilwa, and was one third of the total national fish landing for Malawi in 1976, indicating the importance of Lake Chilwa to the nation's food supply.

The swamps harbour other fish, and those commonly caught for human consumption include members of the Cichlidae (Haplochromis callipterus, Tilapia rendalli, Pseudocrenilabrus philander), Cyprinidae (Barbus trimaculatus, Labeo cylindricus, Alestes imbiri), Characidae (Hemigrammopetersius barnardi) and Mormyridae (Petrocephalus catastoma, Marcusiensis (= Gnathonemus) macrolepidotus).

The chief predators of the fish include fish eating birds such as gulls, terns, cormorants, pelicans and herons, crocodiles, monitor lizards and otters (Furse, Kirk, Morgan and Tweddle 1979).

10. Other vertebrates

Amphibia: Some frogs and a few toads live in the Lake Chilwa environment. They show a variety of adaptations that enable them to survive the harsh conditions found there. Xenopus muelleri is found in larger pools on the floodplain but is absent from the more saline lake. It survives drought by aestivating in soft damp mud. Phrynobatrachus acridoides lives on the floodplain in shallow, almost fresh water, but survives the dry season by moving to perennial streams. Hyperolius parallelus is found along the swamp edges, spending much of its time resting on stems of Typha. It has an area of hygroscopic skin on the inner flanks of the thighs, and it is thought to aestivate in termitaria. The adult Chiromantis xerampelina is able to excrete uric acid and can live on land, but the larval stages require water. The most highly specialised amphibian is Powers rainfrog Breviceps poweri, which lives permanently on land. Its feet are not webbed and it cannot swim, although it can inflate its lungs which allows it to float. It spends most of its time underground, and the tadpoles remain inside the egg membranes until metamorphosis. (Dudley 1979).

Reptiles: Some nineteen species are listed for the area, including some of special interest. The soft shelled turtle Cycloderma

frenatum has an accessory breathing apparatus in the mouth that enables it to survive in the water for 12 hours without using its lungs, and it can aestivate in soft mud for up to one year without food. Crocodylus niloticus is now very rare in Lake Chilwa and in times of drought will bury itself in mud, migrate up rivers or traverse the sand bar to Lake Chiuta. Many snakes are found in the area including Python sebae (African python), Atharis superciliaris (lowland viper) and Bitis arietans (African puff adder). (Dudley 1979).

Birds: Lake Chilwa has over 150 species of resident birds and up to 37 species of palearctic visitors. The open water of the lake attracts fish predators such as the pink backed pelican, grey headed gull and reed cormorant. Ducks and geese frequent the lagoons and river mouths, and the swamps harbour a great variety of species including cranes, rails, warblers and red-shouldered widows. The marshes support ducks, moorhens, jacanas, rails, cranes, reedhens, egrets, storks and ibises, and the floodplains sandpipers, greenshanks, ruffs and flamingoes. Vultures are not resident in the area but fish eagles and African marsh harriers are resident birds of prey (Stead and Schulten 1979).

Mammals: Until the end of the last century the Lake Chilwa area supported a wide variety of game including kudu, bushbuck, rhinoceros, elephant, eland, impala, duiker, klipspringer, gnu, zebra, oribi, buffalo, hippopotamus, warthog, bushpig, leopard, lion, and hyaena, but many of these are now absent from the area. Mammals still found there in relative abundance include Papio cynocephalus (yellow baboon), Cercopithecus aethiops (vervet monkey), Aonyx capensis (cape clawless otter), Viverra civetta (civet cat), Atilax paludinosus (water mongoose), Crocuta crocuta (spotted hyaena), Hippopotamus amphibius, Redunca arundinum (reedbuck), Tatera leucogaster (gerbil) and Mastomys natalensis (common rat). In addition large numbers of cattle graze on the plains. (Dudley 1979).

11. Human influence

Until the end of the nineteenth century Lake Chilwa was at a crossroads of central Africa. Caravans of people, including slave traders passed N-S and E-W through the area. Lake Chilwa and its inhabitants provided food, supplies and a place of rest for the travellers, some of whom remained and diversified the population. Others migrated to the area to hunt and fish, and thus the area became quite cosmopolitan. Today there are 14 major ethnic groups in Malawi, most of which follow a matrilineal culture: Chewa, Comwe, Nyanga, Mang'anga, Ngoni, Tumbuka, Ngonde, Yao, Sena, Tonga, Lukwa, Lambya, Wemba, and Nyakyusa.

In the past the people of the area have accommodated to the continually changing situation, by migrating away from the lake during times of drought and returning to fish as the lake re-filled. However, today the places where they were once able to subsist on berries, roots and meat from wild animals are now extensively cultivated with rice, tea, tobacco and coffee. Consequently the former plants and animals are no longer available for these people in

times of severe drought. However, improved fishing, storage and general management should help to minimise the effects of the next major regression. It has been suggested that in the past the effects of drought have been far more devastating than over-fishing and that commercial fish production could be increased markedly without causing a deleterious effect on the fish population. To this end a successful experimental trawling programme was carried out 1970-71 in the deeper waters of the southwestern part of the lake, which previously had not been fished.

Today fishing forms a major part of the local economy supplemented by subsistence farming. The floodplain is also important for rice production and stock keeping. Major problems facing the area now include rapid accumulation of silt as a consequence of increased agriculture on the floodplains and in the catchment. Since the lake is endorheic the silt is not carried away, causing the lake to become more shallow and turbid, leading to greater oxygen deprivation (Kalk 1979). Another problem, also associated with agricultural practices in the catchment, is the build-up of insecticides and herbicides, again exacerbated by the fact that the lake has no outflow.

8.2 WETLANDS OF ANGOLA

by R.H.MEPHAM

No definitive accounts of the wetlands of Angola appear to have been published and information for the sketchy account given has in the main, been gleaned by personal communication with ANGOP (London), Information Services of the Portuguese Embassy (London), Hunting Surveys Ltd., and personal knowledge of the area.

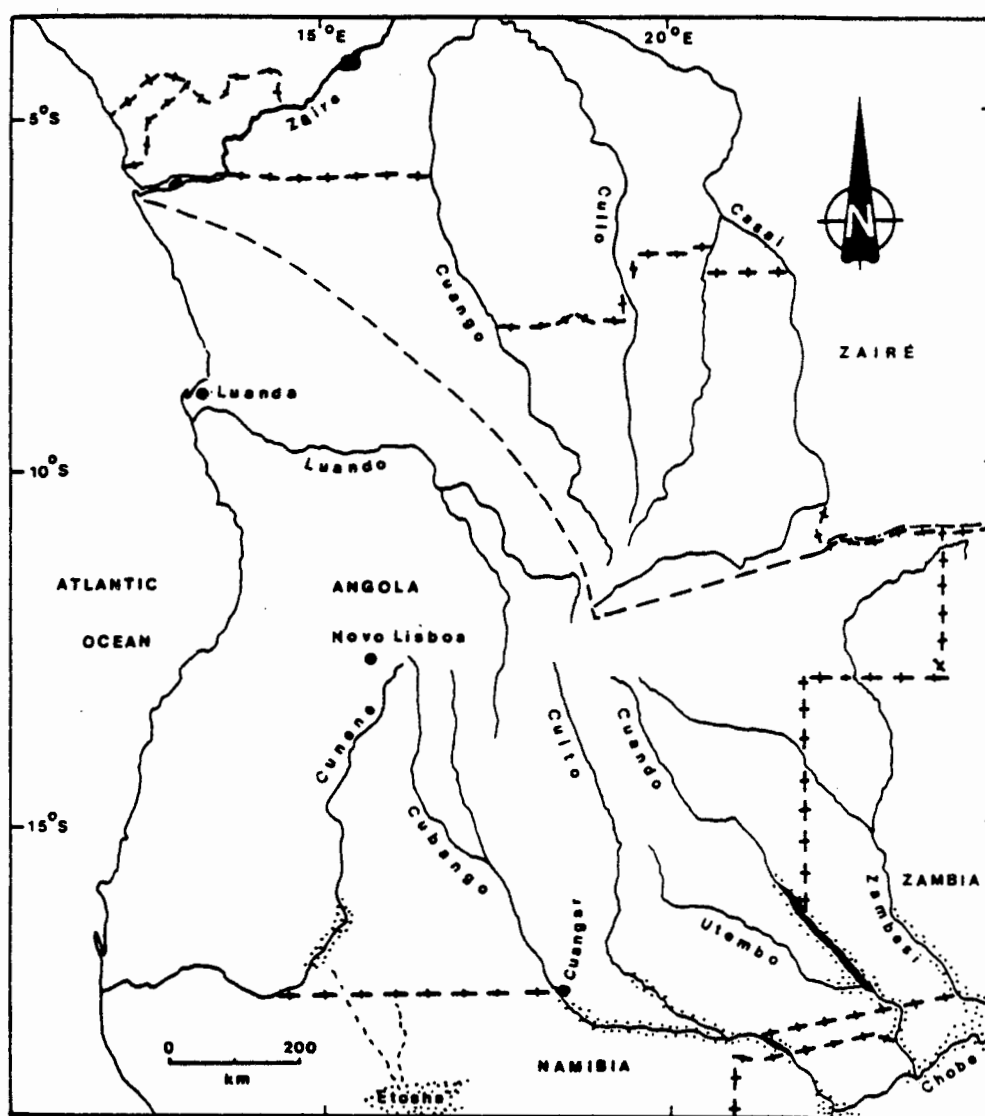
The principal wetlands are associated with the floodplains of rivers on the Central African Plateau in the southern and eastern parts of the country. These rivers rise in the Central Highlands and flow either west to the Atlantic Ocean or east to the Indian Ocean via the Zambesi. Other important wetlands occur on the Cuanza River which also rises on the plateau but flows to the Atlantic Ocean.

Perhaps the best known river is the Cunene (Kunene) which rises at about 1840 m asl near Novo Lisboa, at a latitude of 13°S, and in its upper course descends swiftly through hilly country to the Central African Plateau. Here, in parts of its middle course, it flows comparatively slowly across the western edge of the plateau, at an elevation close to 1100 m asl. In parts of this region, known as the Cunene Flats, it spills over the plain in most wet seasons following heavy rainfall in the headwater catchments. Here the plateau experiences hot summers with 950 mm rainfall, and warm dry winters. Rainfall over both the flats and the headwater catchment is very variable. On the flats the annual total may fall to 550 mm, but in the upper catchments it may reach 1808 mm. In the past the Cunene River flowed into a large pan on the flats, the existence of which is revealed by deep and extensive alluvial deposits. The fact that these deposits contain palaeolithic tools testifies to their recent age and suggests that this was once a centre of population. From this region the river used to flow southeastwards to Namibia before

discharging into Etosha Pan. However, during one great flood it overflowed the banks of the old Cunene Pan and found a new course to the sea, its waters being captured by another river. The old course leading to Etosha Pan is still quite clear but now contains only an ephemeral stream, while the lower course of the rejuvenated Cunene River falls steeply to the sea with many cataracts, and a waterfall 124 m high at Ruacana (Fig. 8.5). Peak flows at this place normally occur in April, but are occasionally as early as February. They invariably coincide with the inundation of the Cunene Flats upstream. A maximum wet season flow rate of $1069 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ was measured at Ruacana in April 1965, but peak flows are usually in the range $350\text{--}450 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$. Some 50 km from its mouth ($17^\circ 16'S:11^\circ 50'E$) dunes of the Namibian desert form the south bank of the river and sand from them continuously slides into the river. When the river is in spate the sand is swept to the coast, but during the dry season the lower course is choked by sand banks. Water flow is minimal in the lower course at this time and the river discharges into a lagoon, its mouth having been deflected alongshore behind a sandy spit. By contrast, the opposite northern bank of the river is a rocky platform rising steeply from the water. This is an extremely arid area and average annual rainfall at the Cunene mouth (Fos do Kunene) is less than 20 mm a year. The Cunene River is dammed twice, at Matala and Ruacana, to provide hydroelectric power and water for irrigation purposes. The fish fauna of the river changes in passing upstream since fish are unable to ascend the waterfalls. The spectrum of species found on the plateau is similar to that found in the Cubango and other tributary streams of the upper Zambesi and Okovango systems.

The other major rivers of southern Angola, the Cubango (Okavango) and its tributary the Cuito, and the Cuando (Kwando) and its tributary the Utembo, rise in sponges on the eastern side of the high Lunda Divide in the Central Highlands. They flow out of the hills southeastwards to the Central African Plateau, and thence to the Caprivi Strip (Fig. 8.5) from where the waters of the Cuando reach the Zambesi, while those of the Cubango drain either into the Okavango swamp, or to the Zambesi. All these rivers inundate flood plains on the plateau after storms over their headwater catchments in the rainy season.

There are no important wetlands along the upper course of the Cubango, which is boulder strewn and full of rapids, although small Phragmites swamps occur on many of its tributaries, and much of the upper course carries a thin fringe of Phragmites as it flows through Brachystegia - Julbernardia woodland. Once it reaches the plateau, the fringe community becomes more complex and quite extensive on sandy patches, some of which measure several acres in extent. Plants such as Commelina microspatha, Ethulia conyzoides, Kosteletzkya buettneri, Mikania cordata, Pennisetum glaucocladum and Polygonum senegalense appear in the reed beds here. However, far more extensive patches of semi-permanent swampland border the river once it begins to meander below Cuangar, close to the Namibian border. Again stands of Phragmites mauritianus fringe the water but are interspersed with clumps of a bulrush, Typha domingensis. To landward of this vegetation there are numerous ponds, some of which are permanent and some which occasionally dry out. They contain water lilies (Nymphaea caerulea and Nymphaea lotus) and other floating species such as Aeschynomene fluitans, together with numerous submerged aquatics which have a luxuriant algal epiphyton. Around the margins, sedges (Cyperus distans and Scirpus muricinux) may be found together with a swamp fern, Cyclosorus interruptus, also tall grasses including Miscanthidium junceum



— + — international boundary which does not follow a river



wetland



— — — boundary between region 7 and region 8

Fig. 8.5 Wetlands of Angola

and Pennisetum glaucocladum, and the commelinaceous Floscopa glomerata. There may be a thin fringe of Vetiveria nigritana on the landward side of the ponds, giving way to a low sward of Cynodon dactylon on flat land which is only occasionally and briefly flooded. Water levels in the permanent ponds vary by as much as 3.5 m in a year. Fish and frogs abound in these pools and are hunted by many birds. Juvenile fish are common in the reed beds all along the river during the wet seasons.

Riverine trees including Acacia nigrescens, Diospyros mespiliformis, Ficus burkei, Ficus sycomorus, Garcinia livingstonei, Hyphaene benguellensis, Kigelia pinnata, Phoenix reclinata, Sclerocarya caffra, Syzygium cordatum and Syzygium guineense become increasingly common below Cuangar and form sparse woodlands along the banks in suitable sites. Cyperus papyrus is reputedly common in swamps in the lower Cuito valley, and near the confluence with this tributary, papyrus also appears along the banks of the Cubango. From here, continuing downstream, Phragmites and papyrus alternately dominate the banks. Just over the border between Mucusso and Popa Falls in the Caprivi Strip, for a short distance, the Cubango River follows a highly braided course between innumerable islands with narrow flood plains on either bank. Both banks and islands support woodlands of the riverine species listed above, which are inundated by the seasonal floods, but never for any length of time as the flood crests seem to pass quickly. Behind the riparian woodlands the land rises in several grassy terraces, subject to occasional flooding, to reach dry savanna woodland in which Burkea africana and Combretum psidiodes predominate. Below Popa Falls a broad complex of floodplains extends on either side of the river as it approaches the Okavango Delta in Botswana. Before reaching the delta, however, the Cubango meets with the Linyanti (Chobe) River, and some of its water passes eastwards through the Chobe swamps to join the waters of the Cuando and eventually those of the Zambesi.

Like the Cubango, no important wetlands occur along the upper course of the Cuando River, which drains an area of 96 778 km², but for over 320 km as it approaches and then forms the border with Zambia, it has a vast intricately braided course, flowing in several major and hundreds of minor channels between myriad islands. When flood waters rise each year the whole of this area and the adjacent river terraces are inundated in a belt locally exceeding 15 km in width which has an estimated total area of some 3800 km². Rheophytic vegetation dominates this area, most island surfaces being covered with stunted trees, bushy thickets, perennial sedges and grasses, and many annual herbs. Across the border, in the Caprivi Strip, the Cuando becomes the Linyanti and its flood waters spill over the expanse of the Chobe or Linyanti Marshes, which cover a further 1500 km². Thereafter the flood passes down the Zambesi to the Indian Ocean.

The elevation of the floodplains on the Cubango and Cuando Rivers varies between about 1200 and 1000 m asl, and the mean annual rainfall over these regions ranges from about 510 mm in the west, where it is highly unreliable, to about 860 mm in the east. However, the upper catchments in the Central Highlands receive up to 2000 mm/yr.

The fish fauna of the rivers in the floodplain region is similar to that described for the Okavango (section 8.4). Antelopes are comparatively common in the area, and giraffes, zebras and elephants are still recorded. Crocodiles are common in some of the lower floodplains, but

become scarce with increasing elevation. Malaria is common in the lower floodplain areas, caused by the parasites, Plasmodium falciparum and Plasmodium malariae, both of which may be transmitted by either of the local vectors, Anopheles gambiae and Anopheles funestus. Other species of Anopheles have been recorded from the area but are not proven vectors of Plasmodium. Schistosoma and its snail vector are known in the floodplains, as is Glossinia morsitans, which transmits sleeping sickness.

A number of important wetlands occur between the lower courses of the Cubango and Cuando Rivers in an area 19°38'–22°56'E and 15°53'–17°22'S. In this region, the Luiana River, an affluent of the Cuando, drains 46 750 km² of flat land. The Luiana has a dozen headwater tributaries and almost all of these rise in swamps which together form a great crescent, oriented SW–NE. Downstream, these tributaries of the Luiana, and the Luiana itself, are lined by sections of floodplain and discontinuous strips of permanent reedswamp. In addition, much of the land surface between these tributary streams is covered by temporary marsh, or by clusters of little lakes which have permanent peripheral reedswamps. Lake Bezi Bezi (16°15'S/19°44'E) is an example.

Other important, but poorly described, wetlands occur north of the Cuando River close to the Zambian border. In a strip between Benda (15°40'S/21°37'E – a town on the Cuando River) and the Zairean border, no less than 18 major rivers flow eastwards from the Angolan Plateau to the Zambezi. A succession of lake clusters and their associated swamps lie on the plateaux between the rivers, while other swamps and floodplains lie along the river beds. Among the most extensive lake/swamp systems on the plateaux are the Chiume Lakes (15°08'S/21°27'E); the Ninda Lakes (15°03'S/21°38'E) and the Malumbo Lakes (14°38'S/21°55'E). The most extensive valley swamps are on the Luena and Chefumage Rivers.

The Cuanza River drains a basin of 145 917 km² and rises to the east of Huambo. At first the river flows north, across the high plateau, with little accompanying wetland, but a series of swamps and floodplains appears south of the town of Cuanza (16°00'S/17°40'E), after the river dips below the 1000 m contour. Extensive swampy floodplains occur on the Cuanza and its principal tributary, the Luando, both above and below their confluence at Jimbe (10°19'S/16°39'E). Many lagoons and large tracts of permanent swamp, including swamp forest, occur in this area. Other lake/swamp systems occur farther upstream on the Luando and its affluent the Jombo in a comparatively humid region (10°22'–10°28'S/17°44'–17°54'E) where mean annual precipitation exceeds 1500 mm. A floodplain appears sporadically along the Cuanza all the way from Jimbe to the sea, but the largest seasonally flooded tracts are below Dondo (9°41'S/14°25'E) in the lowlands. Here the river meanders over a 160 km section and is flanked by lakes and lagoons. The river reaches the sea at Barra do Cuanza (9°20'S/13°10'E), where there is another large lagoon.

The valley of the Cuanza is more densely forested than the valleys of the rivers previously described, and in its middle reaches, dense riparian forests, patches of which are flooded seasonally, contain species such as Acacia nigrescens, Diospyros mespiliformis, Combretum spp., Garcinia livingstonei, Kigelia africana, Markhamia acuminata, Phoenix reclinata and Syzygium guineense, and there are vast expanses of herb swamp dominated by Cyperus papyrus, Phragmites mauritianus and Typha domingensis. These are broken by the open water of the lakes and lagoons

and by clumps of swamp forest along watercourses. Echinochloa pyramidalis, Oryza longistaminata and Vetiveria spp. are found on the floodplain sections. The mammalian fauna of these wetlands, including both resident species and regular visitors, comprises Atilax paludinosus, Cercopithecus ascanius, Colobus polykomos, Dasymys incomtus, Herpestes sanguineus, Hippopotamus amphibius, Kobus ellipsiprymnus, Kobus leche, Kobus vardonii, Leptailurus serval, Lutra maculicollis, Otomys angoniensis, Potamochoerus porcus, Redunca arundinum, Tragelaphus scriptus, Tragelaphus spekei and Thryonomys swinderianus. Numerous amphibians are present, together with a wide spectrum of snakes, Varanus exanthematicus and Crocodylus niloticus. There is a diverse fish fauna which includes many floodplain/swamp species such as Gymnarchus niloticus, Protopterus annectens and many clariids.

In northwestern and central Angola all rivers meander in their lowland valleys and where they cross the narrow coastal plain. All of them inundate small floodplains in these places, but the most extensive wetlands occur on the Zenza and Longa Rivers. Marshy and palm-fringed lagoons occur on the Zenza above its delta, and many reed-fringed lakes occur along the lower floodplain of the Longa.

The rivers flowing northeast to the Cuango River in the extreme north of Angola, and the valleys of the rivers flowing north in Lunda Province, are deeply entrenched, wet, and densely forested. Mean annual precipitation in this region exceeds 1700 mm, and there is much more cloud cover than in the south. The rivers have narrow valleys and are comparatively swift flowing, and where they overflow their banks it is to inundate narrow strips of woodland. The riparian forests here are characterised by the presence of several species with Guinean-Congolan affinities which extend southwards from the Zaire Basin up these deep valleys. Common trees on the valley floors are Anthocleista vogelii, Aporrhiza nitida, Carapa procera, Mitragyna ciliata, Nauclea pobeguini, Oxystigma bucholzii, Pandanus candelabrum, Parinari congensis, Phoenix reclinata, Raphia sp., Spondianthus preusii, Symphonia globulifera, Uapaca guineensis, Ventilago Africana, Voacanga thouarsii, Wildemaniodoixa laurentii and Xylopia rubescens. The fauna also shows affinities with that of the Zaire Basin. Further details are given by Mepham & Mepham, in the IUCN Directory of African Wetlands (in prep.).

8.3 SEASONAL AND SEMI-PERMANENT PANS

by R.H. & J.S.MEPHAM

In South Africa water is a very limited resource, and the conservation of relatively small water bodies is of prime importance. A comprehensive survey of all water resources in South Africa is given by Noble & Hemens (1978). In this account they classify water resources into the following groups.

1. River source sponges. Water-logged and spongy areas which are the head waters of many streams and rivers. A large number of these occur high in mountain ranges such as the Natal Drakensberg and the mountains of Lesoto and Transkei, and are easily damaged by erosion and overgrazing.

2. Swamps and marshes (figure 8.6a). Throughout South Africa, even in the drier parts, there are in most river systems, flat stretches which are overgrown with reeds and other typically wetland vegetation. These areas are waterlogged for much of the year, and become inundated during the rainy seasons. Such areas are referred to locally as 'vleis', and are found both inland and on coastal plains. (See 8.11 Wetlands of the SW Cape).

3. Floodplains (figure 8.6a). A few South African rivers have regions where they periodically overflow their banks, giving rise to typical floodplain areas. The Pongolo River Floodplain (8.7) is a good example of a so-called storage floodplain in which water is retained for long periods after flooding.

4. Endorheic pans (figure 8.6b). In the drier parts of South Africa numbers of oval depressions are scattered about the countryside, which either seasonally or permanently contain water. These 'pans' are closed, having no outlet, and are thus endorheic. In the past many of them were frequented by wandering herds of antelopes and elephants seeking water and fresh pasture. Noble and Hemens have classified the pans into a number of different types.

a) Salt pans which are dry for most of the time, but may contain perennial pools filled by springs. Their soils are highly saline and devoid of any higher vegetation. The fauna includes typical temporary water forms like phyllopod crustaceans, the eggs of which need to dry out before further development can take place. Salt pans are found especially in the Karoo, Kalahari, western Orange Free State and the Transvaal.

b) Temporary pans are shallow, and dry out for long periods although they may retain a few perennial pools. Their soils are alkaline and moderately saline. Higher vegetation is restricted to a few salt-tolerant grasses and the fauna includes phyllopods. Pans of this type are found throughout the northern Cape Province, the western Orange Free State, the Transvaal and parts of SW Africa. Perhaps the most famous temporary one is Etosha Pan, which is dealt with below (8.3.b).

c) Grass pans are seasonal and dry up in the winter except for the usual perennial pools. They are covered by a thick growth of hygrophilous grasses and other low terrestrial vegetation, some of which is salt-tolerant. This vegetation is usually inundated in summer, and a diverse flora of submerged hydrophytes, and filamentous and macrophytic algae may develop. Phyllopods may also be present. The water is rich in nutrients, usually fresh in summer and slightly brackish in winter. Grass pans are found in the southern and eastern Transvaal, where the mean annual rainfall is 650-800 mm.

d) Sedge pans are also seasonal, but do not dry out in the centre sufficiently for terrestrial vegetation to become established. They have a thick growth of marsh vegetation about 1 m high around the margins, comprising mainly members of the Cyperaceae, but have no emergent vegetation in the centres. The water tends to be rich in nutrients, fresh in summer and slightly brackish in winter.

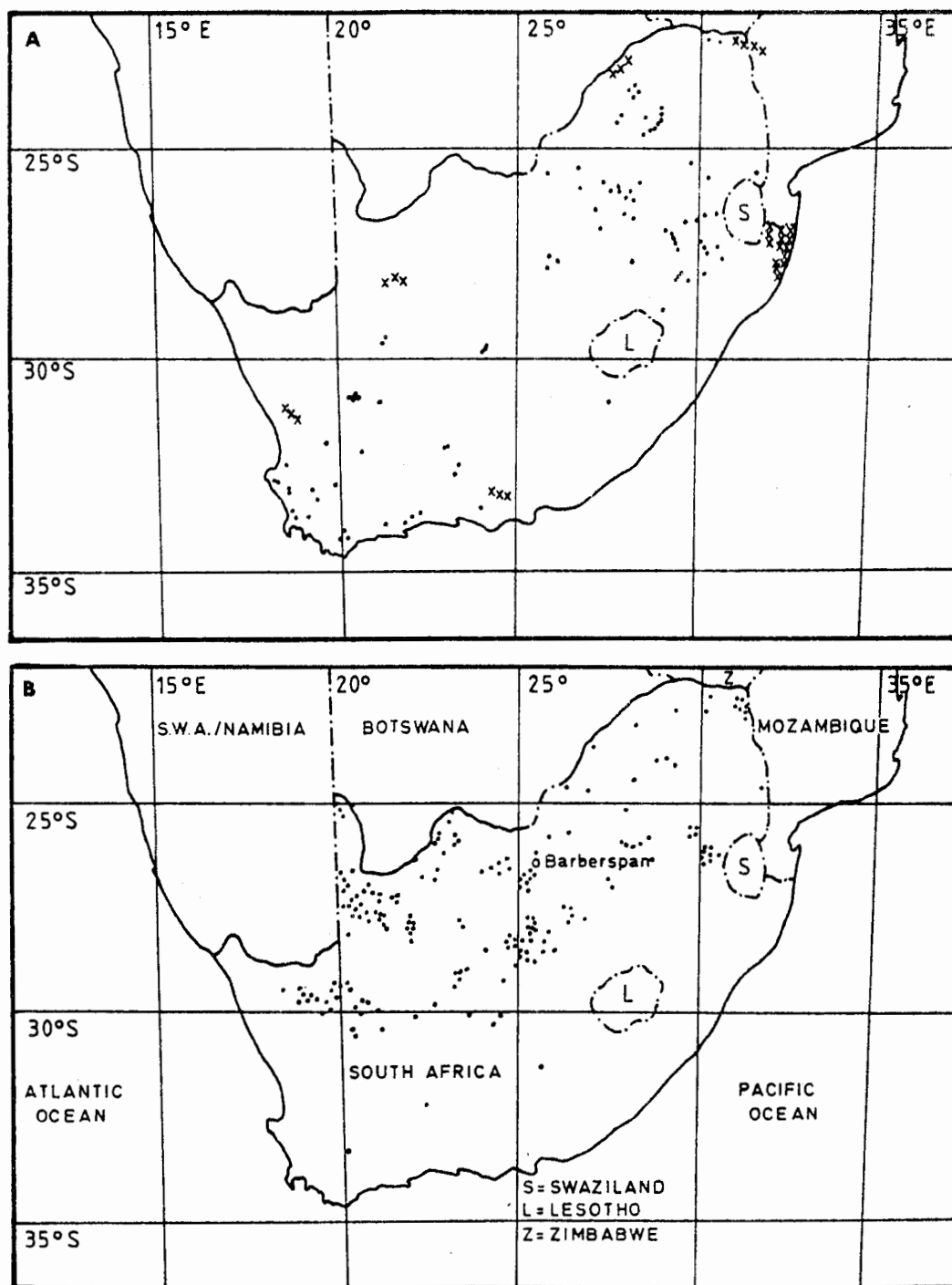


Fig. 8.6(A) Principal vleis (dots) and floodplains (crosses) in South Africa; (B) Endorheic pans and lakes in the interior of South Africa (from Noble and Hemmens, 1978).

e) Reed pans are temporary or semi-permanent pans with a dense stand of Phragmites reedswamp in the middle, and an outer narrow ring of open water. The water is clear and may be fresh to slightly brackish, and the sediments are rich in organic matter. Dense beds of algae, comprising macrophytes as well as filamentous forms, may develop in the peripheral ring of water during the summer months.

f) Semi-permanent pans and lakes are generally deeper than the other types. Some may be fresh, at times at least, but most are somewhat brackish. Some may develop fairly permanent beds of Potamogeton spp. and other aquatic flora, while others apparently do not. Most have sparse grasslands around the margins. The best known example is Barberspan (8.3.a), which is considered in some detail below.

8.3.a BARBERSPAN

Barberspan is a shallow alkaline lake in the western Transvaal of South Africa. Little has been published on its ecology.

1. Geography

Location: 26°33'S; 25°36'E. The lake lies near the commencement of the fossil course of the Harts River, and this can be traced northward by a series of pans for a further 45 km. It has a natural outlet along this course, and flowed into the next pan, Leeupan, in 1943 and 1967. Water has been prevented from pushing past Leeupan during this century, by a slight limestone obstruction. These two pans are connected at 1347.2 m asl.

Altitude: 1348.5 m asl

Surface Area: 15.5 km²

Length: 5 km

Width: 2.5 km

Depth: The lake became completely dry in 1913, but since water from the Harts River was diverted into it in 1918 this has never recurred. In the great drought of 1933 it all but dried out leaving only 275 ha of water, mostly less than 0.5 m in depth. Between 1965 and 1970 the depth of the lake fluctuated between 3.0 and 9.5 m.

Landscapes: Barberspan lies on a great undulating plain, characterised by an absence of any marked physiographic feature.

2. Geology

The greater part of the western Transvaal, in which Barberspan lies, is underlain by amygdaloidal lava of the Ventersdorp system, at least 2100 million years old. In relatively recent geological times, more than 2000 million years after the lava flow, surface limestone began to form, and this surrounds Barberspan and Leeupan almost

completely. This limestone is locally rich in amygdules, fragments of igneous rock which contains cavities partially filled with secondary minerals.

3. Climate

This region experiences cool dry winters from May to October, and hot wet summers from November to April.

<u>Temperature:</u>	mean maximum, June	18°C
	mean maximum, January	33°C
	absolute maximum	40°C
	mean minimum, June	0°C
	mean minimum, January	18°C
	absolute minimum	-6°C

Wind: The prevailing northerly winds have played an essential rôle in carving out Barberspan and Leeupan. Limestone dust from the pans has been blown to the south where it has formed a hill at the end of each pan. These are 24.4 m and 23.2 m high respectively. Severe dust storms sometimes occur here.

Rainfall: Continuous records are available for the period 1930-1967, which have been kept by the Visser family who live at the SW corner of Barberspan.

mean annual rainfall	557 mm
highest mean monthly rainfall	120 mm
highest maximum monthly rainfall	320 mm
wettest months	December, January
lowest mean monthly rainfall	0 mm
driest months	May to August

<u>Evaporation:</u>	
mean annual evaporation	1811.52 mm
mean monthly evaporation	80-230 mm
months of highest evaporation	November, December
months of lowest evaporation	June to August

4. Hydrography and hydrology

The small catchment area of only 39 km² provides little water to the pan in most years, diverted water from the Harts River being more important.

5. Physico-chemical characteristics of the water

<u>Temperature:</u>	mean winter	17.3°C
	absolute minimum, June	9.5°C
	mean summer	19.2°C
	absolute maximum	27.8°C

pH: mean 9.4, range 8.2-9.8

Transparency: The pan is reasonably clear, especially during winter. Readings taken in 1959 at one locality in the central basin were for February 39.7 cm, and for May (early winter) 1.3 m.

6. Vegetation

The aquatic vegetation is dominated by Potamogeton pectinatus, while small prostrate herbs occur on the exposed shore. Various members of Juncaceae (rushes) and Cyperaceae (sedges) are found on the margins of the lake. These grade into open grassland comprising Themeda triandra, Eragrostis sp., Aristida sp., Setaria sp. and other grasses typical of Mizpah soils. In shallow water areas, thick stands of the grass Panicum repens provide cover for birds during times of flood and the limestone outcrops support an abundance of Cynodon dactylon.

7. Invertebrates

Zooplankton: Greatest densities are found during November, December and March, with the lowest in August and September. Cladocerans supply the most important contribution to the total biomass, which has been estimated at $3722.9 - 2277.5 \times 10^{-6} \text{g.l}^{-1}$.

Benthic Organisms are neither abundant in species nor numbers. In a study by Roode (1967) only 4 organisms had a mean biomass for the year of more than 10 mg.m^3 ; i.e. chironomid larvae, ostracods, larvae of Berosus spp. and Micronecta spp. Other organisms found included adult Berosus spp., Culicoedes sp. and members of Tubificidae.

Other Invertebrates:

Arthropods: The largest arthropod found is Potamon potamon (fresh water crab) and the most numerous Hodotermes mossambicus (harvest termite). Various moths, butterflies and dragonflies have been identified.

Molluscs: No live molluscs were encountered by Roode (1967, in Milstein 1972), but many shells of Lymnaea sp., Bulinus tropicus, Anisus sp. and Barnupia sp. were found.

8. Fish

Ten species of fish occur in Barberspan, which is a popular venue for anglers. The fish are Barbus holubi (small mouth yellowfish), B. paludinosus, B. anoplus, B. trimaculatus (minnows), Labeo capensis (Orange river mudfish), L. umbratus (mud mullet), Cyprinus carpio (carp), Clarias gariepinus, Tilapia sparrmanii (vlei kurper) and Hemihaplochromis philander (dwarf kurper).

9. Other vertebrates

Amphibia: Barberspan seems less suited to amphibian life than the shallow short term pans which surround it in the rainy season,

nevertheless Bufo garmani, Bufo regularis, Cacosternum boettgeri and Pyxicephalus delandii occur there and may be relatively abundant at times.

Reptiles: One species of terrapin, Pelomedusa subrufa, is common in Barberspan and preys upon young waterfowl. Lizards and geckos are comparatively uncommon in the sanctuary. Those identified include Mabuza capensis (striped skink), Abelpharus wahlbergi (Wahlberg's snake-eyed skink) and Pachydactylus capensis (the Cape gecko). Snakes are fairly abundant and include Dasypeltis scabra (common egg eating snake), Crotaphopeltis hotamboeia (red lipped snake), Naja nivea (Cape cobra), Lamprophis aurora (aurora snake), Bitis arietans (puffadder) and Causus rhombeatus (night adder).

Birds: The bird sanctuary at the NE corner of Barberspan supports a wide range of resident and visiting birds. Birds have been ringed and recorded since 1959 and a comprehensive list of species is given in Milstein (1972).

Mammals: Small mammals have not been studied intensively, but rodents are known to be plentiful. Common mammals include: Rhabdomys pumilio (striped fieldmouse), Rattus rattus (black rat), Praomys natalensis (multimammate mouse), Otomys irroratus (vlei otomys), Erinaceus frontalis (African hedgehog), Rhinolophus sp., Mineopterus sp. (both bats), Lepus capensis (Cape hare), Xerus inauria (ground squirrel), Pedetes capensis (spring hare), Hystrix africaeaustralis (African porcupine), Orycteropus afer (ant bear), Cryptomys hottentotus (mole rat), Vulpes chama (silver fox), Canis mesomelas (black backed jackal), Ictonyx striatus (Cape polecat), Lutra maculicollis (spotted neck otter), Cynictis penicillata (yellow mongoose), Antidorcas marsupialis (springbok) and Raphicerus campestris (steenbok).

8.3.b ETOSHA PAN

Etosha Pan, together with numerous small pans, is situated in the Etosha National Park in SW Africa/Namibia. It is a flat saline depression which has not been fully flooded during the past 50 years. In most years it contains water for 4-6 months, but it is dry and salt encrusted at other times. The smaller pans contain standing water for much shorter periods. During the Pliocene the Cunene River formed a lake in the region, but subsequently abandoned its southerly course leaving Etosha Pan as a remnant of the lake. Most pans in the area provide water holes and salt licks for game, and in consequence attract large numbers of tourists. Little has been published concerning the ecology of Etosha Pan, and for some of the information presented here we are grateful to Dr H.H. Berry who has worked at the National Park since the early 1970's.

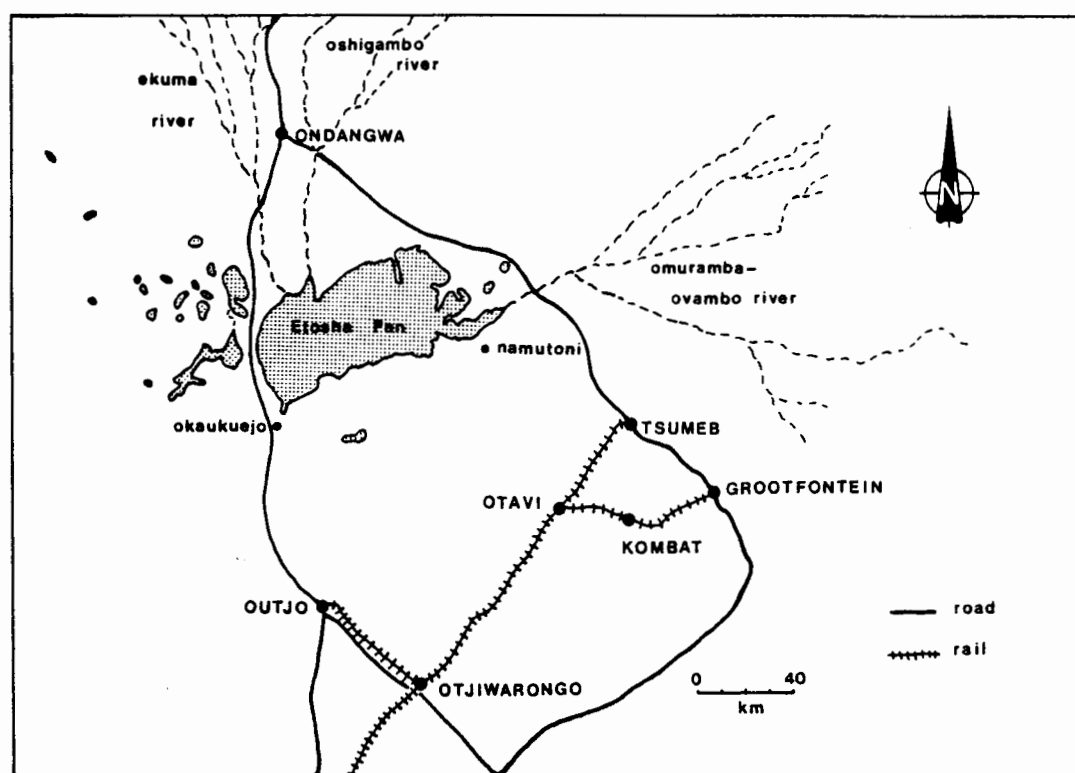


Fig. 8.7 Map of Etosha Pan and its surrounding area

1. Geology

The pans of Etosha lie on the Kalahari Beds, which comprise limestones, calcareous sands and gravels. The floors of the pans are made of clay, silt and fine to coarse sand. Water drains into the pans and remains there until it finally evaporates, leaving salty deposits. Where it is regularly flooded, the floor of the main pan is a hard, salt-encrusted, cracking clay, but towards the west where it is seldom flooded, it is a sandy plain. Small depressions in the pans, known locally as 'fountains', give rise to more or less permanent water holes which are heavily utilised by animals during the dry seasons.

2. Geography

Published estimates of the area of the main pan exceed 6000 km², but measurements from several maps show that it is in fact about 4 080 km², with maximum extents of 120 km from west to east and 52 km from north to south. The total area of all small pans is approximately 550 km². The main pan lies in flat or gently undulating savanna country at an elevation very close to 1080 m asl, and is situated between longitudes 16 and 17°E at a latitude of 18°45'S.

3. Climate (Fig. 8.2 Ondangua)

The climate is harsh. In summer sudden thunderstorms lash the pan, to be followed by prolonged periods of intensely hot sunshine. In winter, days are warm, but nights are cold and 0°C has been recorded on occasions, and desiccating winds may gust across the pan at speeds up to 30 knots. There are usually three distinct seasons:

wet and hot;	January to April
dry and cold;	May to August
dry and hot;	September to December.

Precipitation during the wet season is unreliable and varies considerably from year to year, e.g. only 90 mm in 1946, but 975 mm in 1950. In normal years more rain falls on the eastern edge of the pan than on the western edge.

Temperature: (at Okaukuejo)

Hottest month: January:-	mean daily temperature	18.2°C
	mean monthly minimum	11.8°C
	mean monthly maximum	38.3°C
Coldest month: July:-	mean daily temperature	6.1°C
	mean monthly minimum	1.5°C
	mean monthly maximum	28.9°C

Precipitation:

(at western edge of the pan, Okaukuejo):

mean annual rainfall	418.3 mm	
wettest month - February:	mean average rainfall	107.7 mm
driest month - July:	mean average rainfall	0.0 mm

(at eastern edge of the pan, Namutoni):

mean annual rainfall	440.0 mm
----------------------	----------

Relative Humidity: (Class A Pan): Normally evaporation exceeds precipitation by a factor greater than 6:1. During the 5 years (60 months) from 1974 to 1978 rainfall exceeded evaporation in only 2 months, February and March 1976.

Mean annual evaporation: 2662 mm.

Wind:

January-April	(hot wet season)	prevailing winds NE
May-August	(cold dry season)	prevailing winds NE
September-December	(hot dry season)	prevailing winds SW-NE

4. Hydrography

Direct rainfall accounts for only a small proportion of the pan's water, most being supplied by three ephemeral rivers, the Ekuma, the Oshigambo and the Omurambo-Ovambo. The first two of these drain the plains of Owambo and their mouths form deltas in the northwest of the pan. The Omurambo-Ovambo drains an area to the northeast of the pan, which it enters at its western extremity. In the wettest years the pan is partially flooded from January to April or even June, but droughts are frequent and during dry cycles (e.g. in 1980) there may be no standing water away from water holes. During these periods the

rivers do not flow at all and their courses consist of a series of pools and ponds. In 1971, a moderately wet year, some 2500 km² of the pan was flooded with water ranging in depth from 1 m at the Ekuma delta to 1 cm on the SE edge. The SW sector of the pan was not flooded at this time, and indeed it is doubtful if it has been fully flooded this century.

5. Physico-chemical characteristics of the water

River water flowing into the pan early in the wet season has a pH close to 7.6, whereas pan water is more alkaline. The pH of pan water rises as the pan dries, having been measured as 9.2 in July and 9.4 in September, finally exceeding 10 before drying. Analyses of pan and river water in July and September 1971 (Berry 1972) gave the following results:

	River water (Ekuma)		Pan water	
	July	September	July	September
Conductivity (10 ⁻⁶ S.cm ⁻¹)	1900	45 000	26 000	67 000
TDS mg.l ⁻¹	1365	34 030	20 175	61 380
Na mg.l ⁻¹	482	12 800	7 820	22 650
K mg.l ⁻¹	10	106	111	300
SO ₄ mg.l ⁻¹	104	2 790	890	3 700
NO ₃ mg.l ⁻¹	7	0	0	0
NO ₂ mg.l ⁻¹	0	0	0	0
SiO ₂ mg.l ⁻¹	25	40	40	40
F mg.l ⁻¹	0.5	5	6	7
Cl mg.l ⁻¹	600	15 800	10 400	29 850

6. Vegetation

The floors of the pans are largely unvegetated, but low islands in them, subject to inundation during floods, often support perennial grasses, reeds and sedges, and occasionally, scrubby trees. The peripheral vegetation is chiefly scrub woodland dominated by Colophospermum mopane (mopane) which is browsed by many animals. This species tends to be deciduous and is mostly bare by the end of the dry season. Other trees found on the pan margins and along associated water courses include Acacia ataxacantha, A. erioloba (camel thorn), A. erubescens (blue thorn), A. hereroensis, A. kirkii (floodplain acacia), A. leuderitzii, A. mellifera, A. nebrownii (water acacia), A. reficiens (false umbrella thorn), A. tortilis, Combretum apiculatum (rooibos), C. engleri (sand bush willow), C. hereroense (russet bush-willow), C. imberbe (leadwood), Dichrostachys cinerea (sickle bush), Elephantorrhiza suffruticosa, Erythrina decora, Olea africana (African wild olive), Sclerocarya caffra, Spirostachys africana, Terminalia brachystemma and T. prunoides.

7. Animals

The Etosha National Park is one of the largest and most renowned game parks in the world and the game animals which visit the pans include buffalo, eland, elephants, giraffes, hartebeest, kudu, leopards, lions, oryx, rhinoceroses, wildebeest and zebras. Among the smaller animals are found hunting dogs, foxes and jackals, wildcats, warthogs and bushpigs, baboons, scaly anteaters, hares, and numerous rodents including porcupines, ground squirrels, spring hares, gerbils, mice and dormice. A variety of snakes and other reptiles occur in and around the pans, and there is a wealth of bird life. Etosha Pan is the only known mass breeding ground of the lesser flamingo (Phoeniconaias minor) and the greater flamingo (Phoenicopterus ruber) in southern Africa, and in some years the flamingo population of the pan may exceed one million birds. Other species observed there include Aquila rapax (tawny eagle), Ardea cinerea (grey heron), Corvus alba (pied crow), Larus cirrocephalus (grey headed gull), Leptoptilus crumeniferus (marabou stork), Pelecanus onocrotalus (white pelican), Platalea alba (spoonbill), Plegadis falcinellus (glossy ibis), Struthio camelus (ostrich), Terathopus ecaudatus (bataleur eagle), Threskiornis aethiopicus (sacred ibis) and Torgos tracheliotus (lappet faced vulture).

8. Human impact and activity

There are three camp sites in the Etosha National Park offering bungalows, cabins and tents for rental. During 1983 a total of 51 780 people visited the park; 13 959 from overseas, 18 583 from SW Africa and 19 292 from the Republic of South Africa. No other people live in the park apart from park staff, and the grazing of domestic animals is prohibited. The Etosha National Park is a protected area and is covered by a Nature Conservation Ordinance (1975). However, the use of anti-malarial agents in the catchment areas in recent years has led to the appearance of chlorinated hydrocarbons in the food chains of the pan. Most river water originates in Owambo and since 1965 indoor sprays have been applied to the roofs and upper walls of tribal huts. Today some 120 000 kg of 5% DDT solution is used annually for this purpose in the catchments, and eggs of the lesser flamingo were found to contain traces of the following compounds: DDT 0.013 ppm, TDE 0.097 ppm, DDE 0.19 ppm, dieldrin 0.03 ppm and BHC 0.03 ppm (Berry 1971).

8.4 THE OKAVANGO DELTA AND THE MAKGADIKGADI PANS

by J.S. MEPHAM

Readers of travellers' tales have long been enchanted by stories of a mighty river which flows into the heart of Africa and then apparently disappears. This is the Okavango River, which is no less fascinating for having been investigated to some extent in recent times. It is derived from two rivers which rise in the highlands of Angola, the Cubango and Cuito which flow in an approximately southerly direction across Angola, before uniting to form the Okavango River which enters northwestern

Botswana. This river then flows in a southeasterly direction for a short distance before forming a typical delta with anastomosing distributaries, in the north of the Kalahari Desert. The heaviest rains fall in Angola in January and February, but the floodwaters which develop do not reach the beginning of the delta, the so called 'Pannhandle' before March. The delta has a very gentle slope (1:36 000) and the floodwaters spread slowly and thinly over it, not reaching the eastern limits until August. Evapo-transpiration from the delta is high, and in most years the floods do not proceed beyond the southeastern fringes of the delta. However in years of high flood levels, water overflows the delta and forms two continuation rivers, the Nghabe (or Lake) River which drains into Lake Ngami in the SE, and the Boteti (Botletle) River which drains first into Lake Xau (Dow) in central Botswana, but may finally spill into the Makgadikgadi Pans over 250 km distant from the Delta. Occasionally excess water even reaches the Zambesi River, via the Selinda Spillway to the north, or the Mababe Depression via the Khwai.

8.4.a THE OKAVANGO DELTA

The Okavango Delta (Figs.8.8 and 8.9) comprises a complex system of channels and ridges, swamps and pools. The highest and largest ridge known as Chief's Island lies in the approximate centre of the delta. Areas covered with perennial surface water are considered as 'permanent swamp', and the rest of the delta showing seasonal inundation as 'seasonal swamp'. The permanent swamp extends from approximately half way down the panhandle to cover large areas to the northwest of the delta. It penetrates further down the eastern drainage system of the Nghoka, Moanachira and Santantadibe than the others. It is characterised by deep permanent flowing channels and lagoons with extensive beds of papyrus (Cyperus papyrus) and reeds (Phragmites spp.). Islands occur throughout the delta with increasing frequency to the south. Many of the islands are separated by 'Melapo', which are wide (up to 500 m), shallow, grass- and sedge- covered floodplains. Those 'melapo' which are regularly inundated are referred to as 'primary' and are characterised by the presence of sedges (above 75 cm high). Secondary 'melapo' are inundated only when the flood is higher than average, and are characterised by the presence of grasses over 1 m tall. Large permanent pools are referred to as 'Madiba' (singular = 'Lediba').

Superficially the landscape of the Okavango Delta is always changing. A new growth of vegetation can quickly close a large channel, and new channels may be created by the feeding activities of a hippopotamus herd. In addition the swamp is subject to seismic shocks which are thought to have a marked effect on the topography. There is good evidence that a hundred years ago the Thaoghe System drained into Lake Ngami, but now it runs dry long before reaching there.

The proceedings of a symposium on the Okavango Delta held in Gaborone in 1976, and published by the Botswana Society in the same year, contains several useful chapters on this subject.

1. Geology

The delta is traversed by two fault lines running roughly parallel to each other, from NE to SW, and seismic events are common in the delta, the majority registering between 3.0 and 3.9 on the Richter scale. It is thought that the formation of a graben between these faults accounted for the original build up of the delta. Another, narrower graben running from NW to SE confines the upper panhandle of the delta. A wide belt of granitoid gneisses of the Archaean Basement Complex contains the oldest rocks in the area, forming the bedrock to the NE of the Gomare fault. The central area comprises Karoo sediments of sandstones, shales and coalseams underlying basalts. To the south, quartzites, shales and limestones of the relatively unmetamorphosed late Pre-Cambrian Ghanzi Formation occur, overlying the Kgwebbe Formation. The bedrock is overlain with sands which may be up to 300 m deep. These are brown and white, deltaic and aeolian (wind-blown), medium to fine grained sands of Cenozoic age, which are collectively grouped with the Kalahari beds. Associated with these semi-consolidated layers of detritus are hard concretionary lenses of calcrete and silcrete.

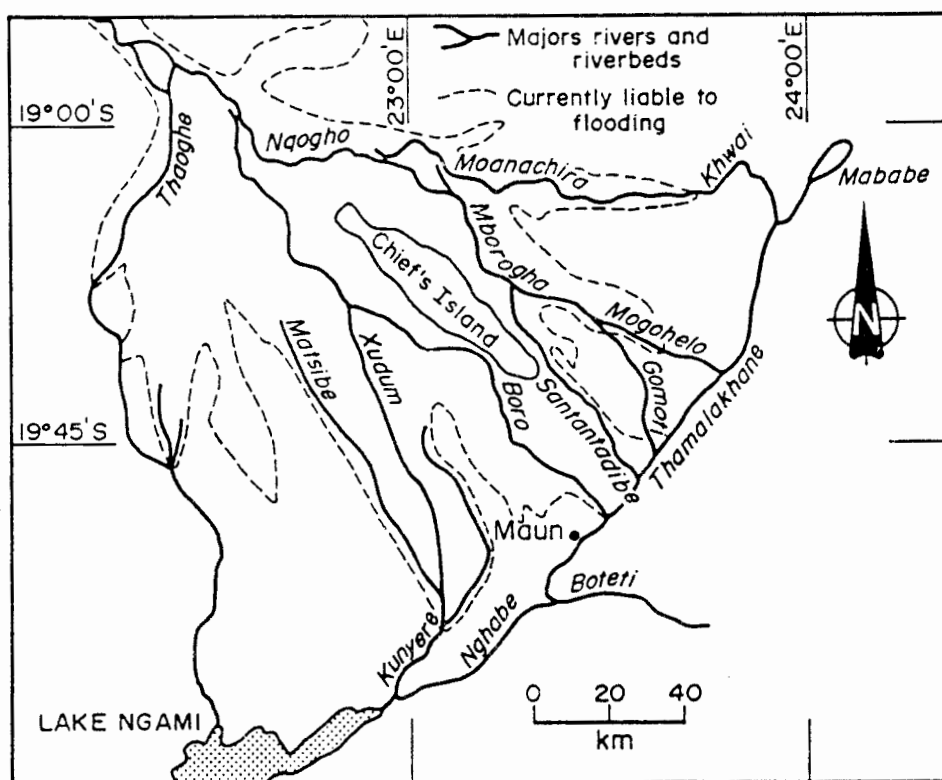


Fig. 8.8 Map of the Okavango Delta showing principal distributaries and the current extent of flooding.

The Boteti River has a conveyance capacity much in excess of its present needs, and it is likely that it once carried the waters of the Okavango River.

Sedimentation: In the swamp water there is very little suspended sediment, but there is a considerable bed load. The Okavango river bed consists of sand with a median grain diameter of 0.2-0.4 mm. Preliminary calculations by Wilson and Dincer (1976) show that sand discharge at Molembo may exceed 2×10^6 t annually, while in the lower swamps it is considerably less than this, with a smaller median grain diameter, below 0.2 mm.

2. Geography

The Okavango Delta is situated in NW Botswana, in the mid-north region of the Kalahari Desert. Although the delta is in a dynamic state the distribution of the principal river remains fairly constant together with three large land masses, Moremiland to the NE, Chief's Island in the centre of the delta and the Sanveld Tongue in the SW. Figure 8.8 shows a map of the principal rivers in the delta, and the areas currently liable to flooding. Figure 8.9 shows a diagrammatic representation of the distributaries and their major blockages.

Location: 18°45'S; 22°45'E, in NW Botswana.

Length: of panhandle 95 km
of delta (apex to base) 170 km

Area: Estimates of the area of the Okavango Swamp vary from 10 000 to 18 000 km². Wilson and Dincer (1976) have made estimates from satellite imagery, and give the following statistics:

Panhandle	1 000 km ²
Central Swamp	1 500 km ²
Thaoghe System	700 km ²
Boro-Kiri-Kunyere System	3 500 km ²
Moanachira-Santantadibe System	3 000 km ²
Magweggana (Spillway) System	300 km ²
Total	10 000 km²

Altitude: at Molembo (beginning of the panhandle) 1000 m asl
at apex of delta 980 m asl
at base of delta (Maun) 930 m asl

Water Depth: varies from place to place, and from season to season, but the average depth is generally considered to be of the order of 1 m, ranging from 0.75-1.5 m. Maximum water depths recorded in the river itself have been about 10 m.

Morphology: The Okavango Swamps are considered to consist of those areas within the delta where surface water lies for extended periods, including adjoining riverine grass and woodland margins where evapotranspiration proceeds at, or near, the potential rate. Perennial swamps, where water cover is permanent, occupy approximately 45%, and seasonal swamps, which are flooded for only part of the year, approximately 55% of the total area. Large termite mounds, reaching elevations above maximum high water mark, have characteristic vegetation and are a conspicuous feature of the

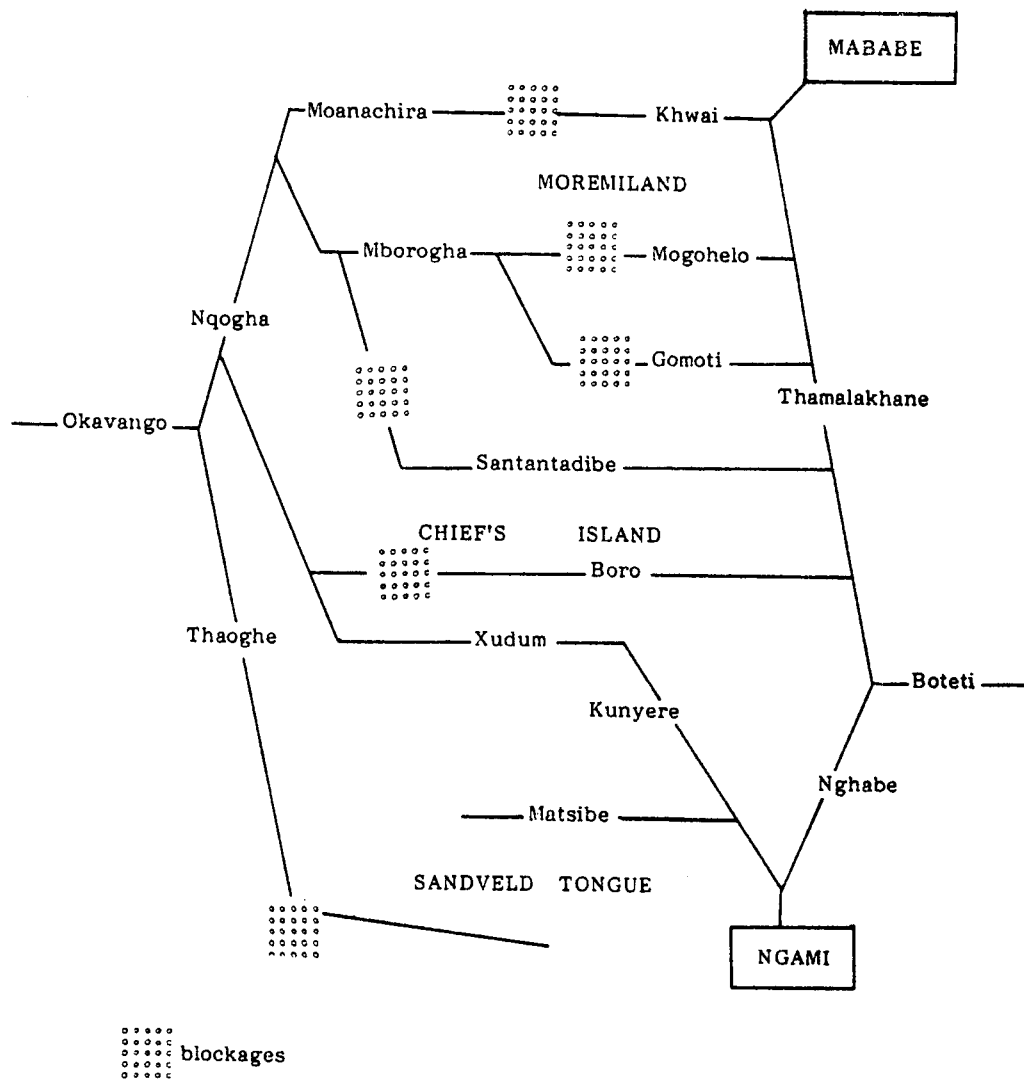


Fig. 8.9 Diagrammatic representation of the principal distributaries of the Okavango Delta

delta. These mounds often occur close together in groups and provide refuges for even quite large animals during the floods.

3. Climate

The summer season is from October to March, during which time it is hot and wet, much of the rain falling during violent thunderstorms. Cooler, dry winters extend from April to September.

<u>Temperature:</u> (°C)	annual, mean	22.2
	highest monthly mean, October	26.9
	lowest monthly mean, June	15.6
	annual, mean maximum	30.4
	October, mean maximum	35.1
	June, mean maximum	24.9
	annual, mean minimum	14.9
	Nov., Dec., mean minimum	19.6
	June, mean minimum	7.0
<u>Insolation:</u> (h day ⁻¹)	annual, mean	9.2
	month of highest, Sept., mean	10.6
	month of lowest, Dec., mean	8.3
<u>Solar Radiation:</u> (cal cm ⁻² day ⁻¹)	annual, mean	498.3
	month of highest, Oct., mean	575.1
	month of lowest, June, mean	386.6
<u>Relative Humidity:</u> (%)	annual, mean	51.3
	month of highest, Feb., mean	68.9
	month of lowest, Sept., mean	30.8
<u>Wind Speed:</u> (km hr ⁻¹)	annual, mean	4.4
	October, mean	6.1
	April, mean	3.5
<u>Precipitation:</u> (mm)	annual, mean	500
	month of highest, January	c. 120
	month of lowest, July	c. 0
<u>Potential Evaporation:</u> (mm)		
(Class A Pan)	annual, mean	2825.7
	month of highest, Oct., mean	326.4
	month of lowest, April, mean	182.1
(Open water)	annual, mean	1860.0
	October, mean	214.5
	June, mean	87.0

4. Hydrography and hydrology

Wilson and Dincer (1976) have estimated the catchment area of the Cubango River to be 115 000 km² with a mean rainfall of 983 mm

(range 605-1 125 mm) and the catchment area of the Cuito at 6 500 km² with a mean rainfall of 876 mm (range 476-1100 mm).

Rainfall on the delta is completely out of phase with the annual flood, except at the upper end. Most rain falls between November and March, but although the flood maximum at Mohebo (to the NW of the delta) usually occurs in March, it does not reach its peak at Maun (SE delta) until about August. The flood wave through the delta, from Mohebo to Maun moves at an average speed of 3.2 cm per second, or 2.74 km per day.

Another consequence of the delta's slow hydraulic response is that intensities of rainfall in both space and time are of little importance for the delta considered as a whole, though the local effects may be quite significant. Rainfall immediately outside the margins of the swamp is insignificant, since it soaks into the Kalahari sands as fast as it falls and produces no run off. A water balance equation has been derived by Wilson and Dincer (1976):

Input	10 ⁹ m ³ .y ⁻¹	Output	10 ⁹ m ³ .y ⁻¹
inflow	11	evapo-transpiration	15.4
precipitation	5	outflow (Boteti)	0.3
		ground water outflow (not exceeding)	0.3
total	16	total	16

The mean active storage of the delta has been estimated at 4×10^9 m³, with a minimum of 1, and a maximum of 7×10^9 m³.

5. Physico-chemical characteristics of the water

What little information is available is contradictory and although there must be considerable variation from place to place, and from time to time, it is clear that there is need for systematic research in this area.

According to Wilson and Dincer (1976) Okavango River water contains 40-50 mg.l⁻¹ dissolved solids giving an estimated annual input to the delta of 0.5×10^6 t. They believe that surface outflow removes about 30 000 t per annum, and that ground water may remove a further 100 000 t, resulting in the deposition of approximately 0.37×10^6 t per annum, which is equivalent to 37 g per m². Conductivity of ground water may reach 3000 micro Siemens cm⁻¹ locally.

The following figures were given for Kanjane, a cattle watering place in the south of the delta:

	mg.l ⁻¹
HCO ₃	1250
CO ₃	40
Cl	1509
SO ₄	1618
Na	42
Ca ²	35
Mg ²	0
NO ₃	127

6. Macrophytes

The vegetation varies according to the degree of flooding which normally occurs in any one place. Plant communities range from submerged aquatic, through swamp grassland to riparian forest and savanna woodland. A comprehensive account of the vegetation of the area is given by Smith (1976). As is the case with many seasonal swamplands, fire plays an important role in the local ecology.

Perennial Swamps: In the perennial swamps of the upper and middle delta, Cyperus papyrus is dominant over large areas. It is a giant sedge which grows very quickly forming enormous mats of culms, rhizomes and debris, usually spreading out from steep channel banks over deep water. Although essentially floating, the mats are so dense and so deep that they often rest on the substratum and become firmly wedged in the channels in which they grow. They frequently form blockages, even in principal channels, and play a significant role in determining the morphology of the delta, diverting stream flow and producing islands. Papyrus develops best where there is little variation between minimum and maximum water levels, and is therefore a useful indicator of perennial swamplands which become progressively less common towards the lower end of the delta. Although it commonly grows in pure stands, papyrus swamps often contain other species. These include some low growing forms such as Polygonum pulchrum, various small Commelinaceae, and the swamp-fern Cyclosorus interruptus, and the tall species Miscanthidium junceum, Phragmites australis, and Typha latifolia. These latter species may also grow in pure stands and become dominant locally. Phragmites australis grows best in sluggish waters of medium depth and is prominent around 'madiba' edges and at channel sides away from the papyrus areas. Miscanthidium is widely distributed and usually occurs in pure stands in still less deeply inundated sites. It often occurs behind papyrus, where the channel banks slope comparatively gently. In other places populations of this plant form long 'ribbons' on strips of sediment which may be submerged levees. Typha latifolia flourishes around 'madiba', pools, channel corners and backwaters, in the shallowest permanent water, and is most abundant in the middle delta.

Open Water Communities: In the perennial swamps, mats of short sedges such as Pycnus nitidus, Cyperus nudicaulis and Scirpus cubensis, and the grass Leersia friesii, often float free on the surface of permanent ponds. Small mats are usually monospecific, but

large mats often comprise several species. Both these mats and occasional low emergent mounds of peat, are frequently colonised by the insectivorous plants Drosera madagascariensis and Utricularia spp., and by a species of the grass-like genus Xyris. The so called 'swimming-grass' Vossia cuspidata is common among papyrus bases, and along all stream sides. Brasenia schreberi and Nymphaea caerulea are the commonest floating-leaved aquatics, covering large areas, but almost always with small proportions of Caldesia reniformis, Nymphaea lotus, Nymphoides brevipedicellata, Nymphoides indica, Potamogeton schweinfurthii and Trapa natans, while Ceratophyllum demersum, Lagarosiphon ilicifolius and Najas pectinata are the commonest submerged plants. Where areas of shallower water occur in these permanent ponds there may be a sparse cover of emergents, including Phragmites australis, Typha latifolia, Eleocharis spp., Sacciolepis spp., and Eriochrysis pallida.

Seasonal Swamps: In parts of the panhandle, seasonal grass swamps, dominated by species of Acrocerus, Andropogon, Echinochloa, Eulalia, Leersia, Oryza, and Paspalum, abut the rivers directly. Elsewhere in the seasonal swamps, two sedges are overwhelmingly dominant; Cyperus articulatus and Scirpus inclinatus. These two species occupy vast areas and form a dense community, reaching some 2 m in height, which occurs throughout the delta and is known as 'sica'. Common, but seldom dominant associate species, include Cyperus longus, Cyperus denudatus and Panicum repens. The fringe areas, between the seasonal swamps and dry land, which are flooded only shallowly and briefly each year, are covered by grasses. Here Chloris gayana and Setaria anceps are widespread, but in places the vegetation is terraced, with tall species like Cymbopogon excavatus, Imperata cylindrica and Hyparrhenia rufa occurring in bands at different levels. Sandy soils on the floodplains tend to be dominated by Eragrostis inamoena, Eragrostis lappula, Setaria angustifolia and Trachypogon spicatus, and saline areas by Sporobolus spicatus, Sporobolus tenellus and a sedge, Cyperus laevigatus. The driest and least frequently flooded areas of all, are covered by lawns of Cynodon dactylon.

Open Waters: The surfaces of the smaller temporary ponds tend to be totally occluded by the waterlily, Nymphaea caerulea, with a small admixture of Caldesia reniformis, Nymphoides indica and Potamogeton thunbergii. In other areas the water fern Azolla pinnata is locally common, together with the duckweeds Lemna perpusilla and Spirodela polyrrhiza. However, in the larger depressions, where wave motion inhibits the growth of floating-leaved forms, clear open water occurs in the centre and waterlilies are confined to the periphery. Submerged aquatics, many free floating, occupy the deeper parts of these central areas. In these situations free floating species include Aldrovanda vesiculosa, and several species of Utricularia (e.g. benjaminiana, foliosa, inflexa, reflexa, and stellaris), while rooted submerged species comprise Ceratopteris thalictroides (a fern), Limnophila ceratophylloides, Limnophila indica, Najas pectinata, Nesaea crassicaulis, Ottelia kunenensis, Ottelia muricata, Ottelia ulvifolia, Rotala myriophylloides, Vallisneria aethiopica and Wiesneria schweinfurthii. The mats of floating vegetation, so characteristic of permanent ponds, are generally replaced by emergent species. Among these, the grasses Panicum repens, Oryza longistaminata, and Leersia hexandra are prominent, together with a

number of sedges belonging to the genera Eleocharis, Fimbristylis, Fuirena and Rhynchospora. However a range of other species also occurs in these situations, but seldom forms the dominant vegetation. These other herbaceous emergents include Adenostemma cafferum, Alternanthera nodiflora, Alternanthera sessilis, Ammannia baccifera, Ammannia prieuriana, Caperonia serrata, Centella asiatica, Commelina diffusa, Commelina fluviatilis, Commelina macrospatha, Commelina zambesica, Crassocephalum picridifolium, Cyclosorus interruptus (a fern), Ethulia conyzoides, Eulophia latilabris, Floscopa glomerata, Hygrophila prunelloides, Kosteletzkya buettneri, Limnophyton angolense, Ludwigia abyssinica, Ludwigia erecta, Ludwigia palustris, Ludwigia stolonifera, Melanthera scandens, Microlepis spelunca, Oldenlandia lancifolia, Pentodon pentander, Polygonum limbatum, Polygonum salicifolium, Pycnostachys coerulea, Senecio strictifolius, Torenia thouarsii, Thelypteris confluens (a fern), Xyris capensis, Xyris rehmannii and Xyris straminea. Creepers in this vegetation include the parasitic forms Cassytha filiformis, Cuscuta capensis and Cuscuta australis, together with Cissampelos mucronata, Ipomoea rubens, Mikania cordata and Vigna luteola.

Riparian Forests: Strips of mixed forest occur along watercourses and around islands throughout most of the delta. Some of these occur in perennial swamps, to which, Ekebergia capensis, Rhus quartiniiana, Syzgium guinaense, and the palm Phoenix reclinata are virtually confined. In the middle delta, a shrubby tree, Ficus verruculosa (water fig), forms dense thickets around the edges of many low islands, often spending several months of the year with its trunk bases submerged. Other arborescent species which occur in both perennial and seasonal swamps include Acacia galpinii, Acacia karroo, Acacia nigrescens, Albizia harveyi, Albizia versicolor, Berchemia discolor, Carrisa edulis, Cassine transvaalensis, Combretum hereroense, Croton megalobotrys, Diospyros mespiliformis, Ficus natalensis, Garcinia livingstonei, Hyphaene benguelensis (a palm), Kigelia africana, Lonchocarpus capassa and Sclerocarya caffra.

The understorey of these riparian forests is also floristically rich, often quite dense, and comprises bushes, scandent shrubs and lianes. In the wettest areas, there are a number of bushy species which can tolerate periods of prolonged, if not deep inundation. The most common of these being Ficus capreifolia, Ficus pygmaea, Hibiscus diversifolius (ssp. rivularius), Myrica serrata, Rubus exsuccus and Tacazzea apiculata. In slightly higher drier situations, fringing islands, and the mainland banks of rivers at the edges of the delta, Bauhinia macrantha, Boscia mossambicensis, Capparis tomentosa, Combretum albopunctatum, Commiphora africana, Cordia ovalis, Dichrostachys cinerea, Diospyros lyciodes, Ehretia amoena, Ehretia amoena, Flacourthia indica, Grewia bicolor, Grewia flava, Grewia flavescens, Grewia schinzii, Lantana angolensis, Markhamia acuminata, Maytenus heterophylla, Maytenus senegalensis, Pavetta lasiolepis, Phyllanthus reticulatus, Plumbago zeylanica, Rhus pyroides, Rhus tenuinervis, Securinega virosa, Tricalysia allenii, Vangueria infausta, Vernonia amygdalina, Ximenia caffra and Ximenia americana also grow as bushes or small trees.

Bole climbers and lianes may be common on the foregoing trees and bushes and contribute to the density of the forest. The most abundant of these are Canthium huillense, Clematis brachiata,

Clematopsis scabiosifolia, Cocculus hirsutus, Combretum mossambicensis, Cynanchum schistoglossum, Gongrothamnus divaricatus, Gymnema sylvestre, Hippocratea africana, Jasminum fluminense, Pergularia daemii, Rhoicissus tridentata and Sarcostemma viminale.

Productivity: Thompson (1976) considers that the nutrient level is low throughout most of the delta and that it probably limits the productivity of emergent plants to 40% of their field potential. He estimates that productivity of submerged macrophytes does not exceed $0.5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{yr}^{-1}$, although it should be greater in pools and channels during the dry season, when the concentration of nutrients will be greater, and also in 'madiba' close to human settlements, where there will be an additional input of nutrients. He also considers that dry grassland here does not produce more than about $2-3 \text{ t.ha}^{-1}.\text{yr}^{-1}$, but that the floodplain grasslands produce $10-20 \text{ t.ha}^{-1}.\text{yr}^{-1}$.

7. Invertebrates

No information is available concerning aquatic invertebrates, but some is available regarding terrestrial insects.

In both grasslands and woodlands of the delta, termites play an important role in the breakdown of litter, nutrient cycling and in soil formation. It is widely believed that the mounds of Macrotermes spp. play an important role in the formation of islands in the delta.

In the dry grasslands, ants make up by far the largest proportion of the ground layer community, and in particular a single species, Pheidole sp. accounts for 70-90% of the total active fauna. They are omnivorous, feeding on other insects, carrion and seeds. Other types of insect found there include beetles from the families Tenebrionidae and Carabidae. During the wet season various members of Homoptera, Heteroptera, Acrididae and Tettigonidae become more important.

Ground layer communities in surrounding 'Mopane' woodland is sparser than that of grassland during most of the year. Those feeding on litter include Tenebrionid beetles, and members of Grillidae and Blattidae.

Attempts are now being made to eradicate Glossina morsitans (tsetse fly), the vector of sleeping sickness, from the area, but it seems unlikely that this will ever be completely achieved. Dwellings are sprayed annually with DDT to try to keep down the numbers of Anopheles gambiae and Anopheles funestes, both mosquito vectors of malaria.

8. Fish

The density of fish in the swamp is probably lower than in other tropical, seasonally flooded areas of the world. This may be because of generally low productivity in the swamps, exacerbated no doubt by the presence of insecticides used in eradication campaigns. Estimated productivity for unenriched 'madiba' is $100-200 \text{ kg.ha}^{-1}$.

but in small enriched 'madiba', such as those found near to human settlements, it may be as high as 700 kg.ha⁻¹.

Eighty-two species of fish have been recorded, of which 19 may be of some commercial value, although until 1976 there were no commercial fisheries in the area. Herbivorous fish include Tilapia andersoni and Tilapia melanopleura, which contribute up to 50% of the total fish biomass. Species of Mormyrus, Synodontis and Serranochromis feed mainly on invertebrates, while Clarias spp. have a broad feeding range which includes fish, invertebrates and detritus. Predators include Hepsetus sp. (Kafue pike), Hydrocyon vittatus (tiger fish) and various members of the Claridae (catfish). The shallow 'melapo' at times of high flood provide prime breeding areas for cichlids (Tilapia) and clariids.

9. Other vertebrates

Reptiles: In the past crocodiles (Crocodilus niloticus) have been extensively hunted for commercial gain. For example in 1957 over 2000 were shot, most of which were over 3 m long. However, in 1973, when a concession was given to a game industry company to shoot 500 crocodiles, they were unable to fill their quota. Since that time crocodiles have been protected, and it is generally considered that numbers are increasing. Other reptiles found in the swamps include the monitors, Varanus niloticus and Varanus albigularis. Few other lizards are found although some geckos and skinks are present. A wide variety of snakes occur in the swamps and include non-venomous species, e.g. the African python (Python sebae); back-fanged species, e.g. the boomslang (Dispholidus typhus); cobras, e.g. the Egyptian cobra (Naja haje); and vipers e.g. the puff adder (Bitis arietans).

Birds: More than 400 species have been recorded, although this is poorer than some had expected. There are very few sites suitable for waders. Important species found in the area include warblers which are found in the reed and papyrus beds; Leptoptilos crumeniferus (marabou); Ibis ibis (wood ibis); Pelecanus rufescens (pink backed pelican); Plectropterus gambensis (spur winged goose); Dendrocygna viduata (white faced duck); and Haliaeetus vocifer (fish eagle).

Mammals: The permanent swamp does not harbour many kinds of larger mammals, except Hippopotamus amphibius (hippopotamus) and Tragelaphus spekii (sitatunga). However occasional visitors include Loxodonta africana (elephant), Panthera pardus (leopard) and Syncerus caffer (buffalo).

The greatest variety of animals is found in the channels, 'melapo', and on the islands. Among the most notable herbivore species found here are: Connochaetes taurinus (wildebeest), Equus burchelli (zebra), Rhaphiceros campestris (steenbok), Kobus lechwe (lechwe), Loxodonta africana (elephant), and Syncerus caffer (buffalo). The predominant mammals found in the delta are buffalo which may number 20 000 at any one time. There are an estimated 14 000 wildebeests, 12 000 zebras, and 4000 elephants.

As the flood waters recede a number of grazers e.g. Aephyrceros

melampus (impala), Damaliscus lunatus (tsessebe), Phacochcerus aethiopicus (warthog) and Redunca arundicum (reedbuck); and browsers e.g. Giraffa camelopardalis (giraffe), Papio ursinus (baboon), Tragelaphus scriptus (bushbuck) and Tragelaphus strepsiceros (kudu) move in. Of these, impala and baboons contribute greatly to the biomass, with baboons estimated to total over 219 000 animals.

Large predators include Acinonyx jubatus (cheetah), Crocota crocota (spotted hyaena), Hyaena brunnea (brown hyaena), Lycaeon pictus (wild dog), Panthera leo (lion) and Panthera pardus (leopard). Domestic animals are limited to the edges of the swamp, but it is hoped that the tsetse fly eradication campaign will make available new areas for them within the swamp.

10. Human activity

Ngamiland has a population of 40 000, of which some 13 000 live in the town of Maun, and the rest are distributed mainly along the southern and western fringes of the delta. Some of the islands have a very sparse population, consisting primarily of women and children, the menfolk being employed in larger centres, further away. The population is not large having a density of 0.45 persons per km². Infant mortality is high and life expectancy short.

The Okavango Delta is situated in a region known as Ngamiland, and today the people who inhabit it are known as 'baTawana', and have many diverse origins. The first baTawana were named after a baNgwata prince, Tawana, who after a dispute of inheritance, took a group of people and cattle to seek a new land. After many years of wandering and fighting the baTawana finally settled in Ngamiland and created the capital of Toteng. Since then the baTawana have followed expansionist policies dominating all other groups living in the area, and eventually creating a more homogenous society. They have contributed to the cultural life, especially in the fields of political institutions, law, language and pastoralism. Peoples who inhabited the area before the arrival of the baTawana included the 'baSawara', who were related linguistically to the Hottentots and bushmen, and the 'baYei' and 'haMbushushu', who were forced south from the middle Zambezi area by the warring 'Lozis'. More recently, at the turn of the twentieth century, many 'baHerero' fled from the German wars of extermination, and were accepted by the Bechuanaland Protectorate and settled on the west bank of the delta. Other ethnic groups contributing to the present population include 'baKgalagadi', 'baGcerekue', 'baRotse', 'baKalaka', 'maTabele', 'baSotho' and 'baSubiya', all of which have contributed to the knowledge of cattle rearing and subsistence agriculture, which today is still the principal form of livelihood.

Economy: The majority of people in this area live by subsistence farming and cattle rearing. The principal arable crops are sorghum, maize and millet. In 1976 it was estimated that there were over 250 000 head of cattle in Ngamiland. However over 50% of these belonged to just 10% of the population.

Income is also derived by the curio industry, manufacturing processed

skins and other wild life products; and from both hunting and photographic safaris.

In 1976 a symposium was held in Gabarone, Botswana, to discuss the present status and future utilisation of the delta. As in most natural swamps productivity is relatively high, and it is tempting for governments to try to harness this productivity for the economic development of their country. Many now realise that alteration of one aspect of an ecosystem may have a disastrous effect on another part. Suggestions which have been made for the future utilisation of the delta include: development of water, fisheries, livestock, wildlife, and tourism. Thompson (1976) cautioned against moving too rapidly to develop any of the assets of the delta.

8.4.b LAKE NGAMI

Lake Ngami is an ephemeral lake of inland drainage, without outlet, and is found to the south of the Okavango Delta. Much of the time it is covered by grass, and provides pasture for many cattle. In dry years (e.g. 1965/66) it may dry out completely, yet in rainy years it may fill to provide an open water area of 200 km².

1. Geography

Location: 20°37'S; 22°40'E.

Altitude: 932 m asl

Area and Volume: When David Livingstone first sighted Lake Ngami in 1849 he estimated its diameter to be 170 miles (275 km). Since then the lake has become progressively smaller, and on many occasions has completely dried out. At the present time it varies in area from zero to 200 km², when its maximum depth is 3.5 m and its capacity 350 x 10⁶ m³.

Depth: At maximum water levels the mean depth is of the order of 1 m.

2. Hydrology

Lake Ngami is fed by waters of the Nghabe (Lake) River, whose maximum flow in recent years has been about 11 m³ sec⁻¹ at its upper end. It does not always flow and when it does, it does not always reach the lake.

3. Vegetation

The lake floor is covered with grasses, and thorn bush is currently spreading over the river basin.

4. Fish

The principal species which are able to survive the intermittent long periods of drought are Clarias sp., Barbus sp. and Alestes sp.

5. Birds

When it contains water, Lake Ngami is one of the most important habitats for water birds in southern Africa. Eleven species of water fowl, 19 waders and 43 other species have been recorded in the area. Most notable are concentrations of pelicans and flamingoes which are found there periodically. In 1971 counts of 100 000 greater flamingoes (Phoenicopterus ruber), and 10 000 white pelicans (Pelecanus onocrotalus) were made.

6. Economic importance

Lake Ngami is an area where tsetse fly has been largely eradicated, allowing cattle to be kept there. It is generally considered that the fishing potential of the lake is not fully exploited. This is partly because the people of the area tend to consider it unacceptable to eat fish, and partly because large scale fishing concerns lose heavily when the lake becomes dry. Small scale operations have had some success in producing dried fish for sale in Francistown.

8.4.c THE BOTETI RIVER

The Boteti River is the outlet which carries away any excess water from the Okavango Delta at times of extra high floods. It comprises a wide, but confined, vegetated channel, leading intermittently to Lake Xau and the Makgadikgadi Pans. Now water is pumped from it to the Mopipi reservoir for use by the Orapa mine, and consequently the natural flows have changed.

Location: 20°08'S; 23°23'E.

Hydrology: The average annual discharge at Rakops, near its lower end, is about $200 \times 10^6 \text{ m}^3$, with a maximum of about $600 \times 10^6 \text{ m}^3$ and a minimum of zero.

Vegetation: Only riverine type vegetation is present and swamps are absent. The dominant riverbank community is Phragmites australis, and large reed beds are common in the upper reaches. They become more sparse in the lower reaches but increase again to surround Lake Xau. Sica and bulrush communities are also present, but Miscanthidium junceum is absent. A small relict fringe of papyrus lines the river below Samadupe bridge.

8.4.d THE MAKGADIKGADI PANS

The Makgadikgadi Pans (formerly Makarikari) is the name given to a region of shallow, alkaline, sandy depressions located in NE Botswana, which provide the ultimate end point of the Okavango River, where it finally evaporates away. The pans are flooded for varying lengths of time each year, when they are visited by vast numbers of wading birds. The area is renowned for weird optical effects which frequently occur there. During the cool nights mists form, which later develop into haze as the sun

rises. This causes objects to appear magnified, so that a small outcrop of limestone may appear as a range of hills, and an ostrich may be mistaken for an elephant or even a land rover! When the pans are flooded bubbles of oxygen rise from submerged algae and become trapped in the surface scum, giving it a grotesque warty appearance.

1. Geography

The basin contains two important depressions; Ntwetwe (Mokoamoto) Pan in the west, and Shua (Sua, Nata) Pan in the east.

Location: 25°00'–26°15'E; 20°15'–21°10'S.

Dimensions: Ntwetwe Pan, 160 x 96 km; Shua Pan, 112 x 72 km.

Altitude: The floor of the basin is 900 m asl, and rises to 960 m in the west and 1200 m in the east.

Depth: During flooding the pans may fill to 15–25 cm.

Morphology: During the rainy season water is derived from the Nata River, which rises in Zimbabwe to the northeast. Initially Shua Pan fills from this source, and may eventually overflow into Ntwetwe. Much later in the year any water from the Okavango River enters Ntwetwe via the Boteti River. For most of the year the area is completely dry, and is covered by a vast deposit of greyish sand and salt. A portion of the silt brought in by flood waters is removed by the predominantly easterly winds and attendant 'dust devils'. Barchan (crescent-shaped) dunes lying to the west of Ntwetwe form some of the only bare sand dunes in the Kalahari Desert.

2. Geology

Almost the entire area is covered by Kalahari sands, which are of white, grey, black and reddish hues. They are of both aeolian (wind blown) and fluviatile (riverine) origin, and include silicified sands, calcareous limestones and grits, surface limestones, lake limestones, diatomaceous sandy limestones, marls, conglomerates, pan tuffs, gravels, gritty sands and a full lithological range of silcretes and calcretes.

Fresh water pans and springs are found among the occasional limestone outcrops.

3. Climate

The region is arid, and any rains that fall, do so during the summer months between October and March. The mean annual rainfall is 380 mm, but the mean minimum is 80 mm. The average number of rainy days is 40 per year. The winters are cool and dry, and there may be frosts at night.

4. Vegetation

The almost barren pans are situated in typical savanna surroundings. Close to the edges of the pans are extensive areas of salt marsh, which is gradually replaced by grasslands, shrub savanna, and finally tree savanna.

Aquatic plants include Alternanthera nodiflora, Diplachne sp., Lagarosiphon muscoides, Najas sp., Potamogeton sp. and Scirpus maritimus. In moist crevices at the margins of the pans Amaranthus thunbergii, Cyperus aristatus, Cyperus compressus, Glinus bainesii, Pentzia sp., and Polygonum limbatum may be found.

Grasses include Aristida meridionalis, Heteropogon contortus, Odyssea panicineruis and Rhynchelytrum sp.

Shrub Savanna predominantly comprises Colophospermum mopane ('Mopane'), together with Acacia kirkii, Acacia hebeclada, Acacia nigrescens, Grewia flava, Grewia olukondae, Grewia villosa and Ziziphus sp. which form low thickets scattered over the grassy plain.

5. Animals

Fish: Barbel, which have overwintered buried in mud, are reactivated when the water returns at the start of the summer season. A variety of other fish enter with the flood waters, and eventually die when the water evaporates at the end of the season.

Birds: The sludgy water supplies a veritable nutrient soup which attracts thousands of migrant waders. Flamingoes have been observed in flocks so huge that they cover tens of square kilometers. Other bird visitors include ducks, geese, pelicans and ostriches.

Mammals: The pans supply watering places for a wide range of visiting mammals such as springbok, wildebeest, hartebeest, gemsbok (oryx), eland, giraffes, zebras, elephants, lions, leopards, cheetahs, lynxes, hyaenas, Cape hunting dogs, foxes, jackals, baboons, scaly anteaters, gerbils and mice.

6. Human activity

Many Tswana and related Africans, and a few Europeans farm in this area, but it is also favoured by the oldest inhabitants, the bushmen. These people are traditionally nomads of the Kalhari Desert. During the wet season they roam in groups of 5-16 families, seeking the food plants that supply the greater part of their diet. They use over 30 species of edible plants growing in the desert, and occasionally supplement this with the meat of antelopes and other herbivores, tortoises and other reptiles, and the flesh and eggs of all but the raptorial and scavenging birds. Plant gathering is mainly carried out by the women, and hunting by the men. The chief weapon used is a light bow which fires a flimsy, unfledged, poisoned arrow, with a range of only 20 m. Obviously it takes much skill to stalk and quarry prey from this short distance. At the end of the wet season the band breaks up into individual households, which go their own way

until the next summer. Today many bushmen work as labourers on the farms and ranches owned by both Africans and Europeans.

8.5 WETLANDS OF THE ZAMBESI BASIN AND THE LOWLANDS OF MOZAMBIQUE

by R.H & J.S. MEPHAM

Extensive wetlands occur along the upper Zambesi River and its tributaries as they cross the Central African Plateau. The most important of these are the seasonal floodplains of the Barotse and Chobe regions, Fig. 8.10. After leaving the high plateau, and traversing the Victoria Falls, where the upper course of the river is deemed to end, it flows comparatively swiftly and is generally confined to its incised channel throughout its middle course. However, extensive wetlands occur in the Kafue Basin, which drains into this part of the Zambesi via its largest tributary, the Kafue River. There are also two major impoundments on the middle course of the Zambesi, one at Kariba and another at Cabora Bassa. At this latter place the lower course of the river begins, and again, in Mozambique, the river overtops its banks seasonally. In addition, areas of seasonal and permanent swampland occur on some of its lower tributaries, notably the Shire River, which drains Lake Malawi. Elsewhere in Mozambique, seasonal wetlands occur along the lower courses of most rivers as they traverse the coastal plain, and also around numerous coastal lakes and lagoons. The wetlands of the Kafue are probably better known than the others on the Zambesi system, and are therefore described in more detail.

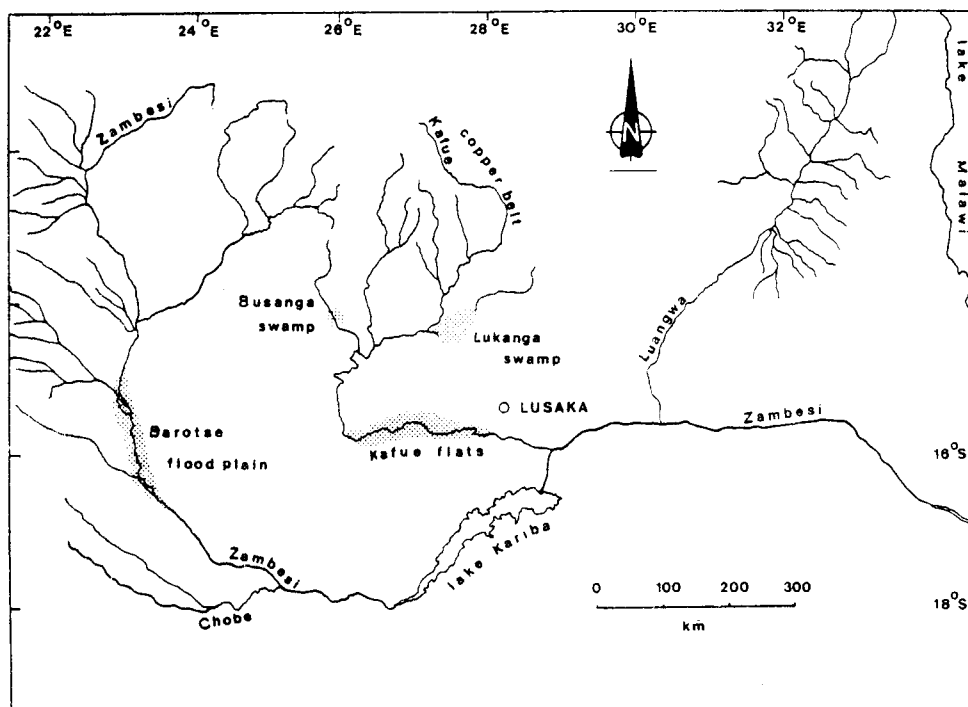


Fig. 8.10 Wetlands of the Upper Zambesi Basin

THE UPPER ZAMBESI REGION

The Zambesi River has sources in Angola and Zambia. In its upper course it crosses the sandy Barotse region of western Zambia where there are three major wetlands, the northern, central and southern floodplains. Hereafter it enters a faulted trough in Karroo sediments lying on lavas, between Ngonye Falls and Mulilo Rapids, through which it flows swiftly. After this it again traverses a sandy plain at the north eastern extremity of the Caprivi Strip, where its flood waters sometimes mingle with those of a southern tributary, the Chobe. The confluence of these two rivers is at Kazangula, some way above Victoria Falls, at which latter place the upper course of the river is deemed to end.

8.5.a THE CENTRAL BAROTSE FLOODPLAIN

1. Geography

The Barotse Flood Plains are situated on the upper course of the Zambesi River on the Central African Plateau in western Zambia, Fig. 8.10. The Central Flood Plain is the largest and is representative of all three. It is 240 km long and up to 40 km wide, with a total area approaching 7700 km². In traversing the plain the river meanders so much that its length exceeds 590 km.

2. Geology

The floodplains lie on Kalahari Sands and the river bottom is predominantly composed of shifting sand. Deposition of alluvium over the flood plain each year is not heavy and the waters of the river are clear at all seasons.

3. Climate

This is warm to hot, with average mid-day temperatures reaching 32°C in August, but often being lower than this in the rainy season due to cloud cover. The mean annual rainfall on the flood plain is about 1050 mm, with 90% of this falling between November and March, and 50% in January and February.

4. Hydrology

Over 1250 mm of rain falls over the headwater catchments of the Zambesi each year. Rain usually begins in late October and finishes in April. Flooding of the upper Zambesi normally commences in November, but the date varies depending upon the intensity of the early rains. The Central Barotse Flood Plain is inundated to a depth of 1.5-3m when the flood peaks in April. The flood recedes over a six month period from May until October, but by September most of the floodplain is dry, and water is restricted to lagoons connected to the river by backwater channels, and numerous isolated lakes. At this time the main channel is some 25-50 m wide and 3-6 m deep.

5. Physico-chemical properties of the water

Conductivity of water in the upper Zambesi remains below 65 micro-Siemens through the months February to August, then rises abruptly to peak at a mean value of 126 micro-Siemens in mid October, after which it declines slowly to the February figure. The lowest conductivities are recorded at the peak of the flood, in April, with a mean value of 57 micro-Siemens. pH and total dissolved solids also peak in October, with a mean average of 52 ppm total dissolved solids. The upper Zambesi drainage area is not productive; burning of the entire watershed occurs annually and has depleted the nutrient status of the sandy soils.

6. Algae

Phytoplankton are abundant in the surface waters of the isolated lakes and some lagoons during the dry season, but make only an insignificant contribution to the primary production of the whole system judged over a full year. Periphyton is present on virtually all submerged vegetation, reeds, aquatic grasses, tree limbs and submerged aquatics and is a very important food source for juvenile fish. No species lists are available.

7. Macrophytes

The lagoons and lakes are generally less than 3 m deep in the dry season and contain beds of submerged aquatic plants, among which Ceratophyllum demersum is abundant, and some waterlilies and other floating-leaved species occur on permanent pools, but vegetation in the river channels is virtually confined to the banks. Here, erosion caused by cattle has seriously reduced the density of aquatic vegetation, both on the main river and its tributary streams. Species such as Echinochloa stagnina, Floscopa glomerata, Ipomoea aquatica, Leersia hexandra and Vossia cuspidata occur in backwaters and wherever the current is not strong. In April the floodplain is covered by an immense shallow lake, largely grass and reed-filled, except in the deep water of depressions formed by lagoons, lakes and river channels. Primary production in the system over the year, is predominantly terrestrial and decomposition of vascular plant debris is most important to the ecology of the flood plain. Several commercially important species of fish eat decaying vegetation; others feed on invertebrates which depend upon this material. With the drying of the plain there is much die back of the vegetation, and the entire area is burned each year.

8. Fauna

There is little information on the invertebrate fauna, but zooplankters are comparatively scarce, only ever becoming abundant in permanent pools during the dry season. So heavily grazed is the plain that large wild animals have been largely displaced from it. Even antelopes have become uncommon over the past 40 years, and crocodiles are now uncommon in the river.

9. Human activities

A fishing industry on the plain provides the bulk of the protein in the diet of about 200 000 people. Fishing is carried out using gill nets, seines, fence and weir traps, as well as baskets and spears. Gill net fishing occurs throughout the year and dugout canoes are widely used. The floodplain is covered by thousands of reed, mud and stone weirs, but this method is most successful only when water is flowing on to, or off, the plain. Tall fence traps are successful when the flood is rising. Many species are trapped when they leave the river to spawn in the shallow rising waters over the flood plain. Basket fishing is carried out in all seasons, but is most rewarding in July and August when the receding waters trap fish in small pools. It is predominantly carried out by women. Small mud and grass walls may be used to lead fish into traps comprising grass baskets. These are referred to as 'maalelo's'. Spear fishing takes place from the banks of the river and lagoons during the dry season. Some 23 species of fish are caught commercially on the flood plain including four species of Clarias, four species of Tilapia, and three species each of Serranochromis and Haplochromis. A carnivorous fish, Hydrocynus vittatus (tiger fish) is also very important, together with Mormyrus lacerda, Schilbe mystus, Hepsetus odoe, Labeo lunatus and Synodontis woosnami. The dry season catch from the flood plain has been estimated as being in the region of 3×10^6 kg. Most fish are marketed locally as access to the area is poor. Much of the catch is dried, or smoke dried, especially after the rains start. Accounts of the fisheries are given in two reports by FAO, Rome, 1968 and 1969, 'Fishery Development in the Central Barotse Flood Plain'.

Cattle Grazing: Some 300 000 head of cattle graze the flood plain during the dry season and the adjacent forested area during the wet season. Overgrazing is a problem and the mortality rate due to malnutrition and internal parasites is great. Drainage schemes to increase the efficiency of cattle ranching promise to be deleterious to the fishery.

THE MIDDLE ZAMBESI REGION

The Kafue Basin lies on the Central African Plateau and is confluent with the Zambesi valley, providing a sub-catchment to that river system of approximately 155 000 km². It is entirely tropical being situated between latitudes 11°30'S and 16°50'S, but because of its elevation it has a comparatively temperate climate. The Kafue River, which rises in the western province of Zambia, at an elevation of 1370 m, ultimately drains the entire basin and discharges into the Zambesi. The Kafue first flows in a southeasterly direction through the Copperbelt, then after traversing the Mpatamatu and Itezihitezhi Gorges, it crosses the Kafue Flats in a broadly meandering course from west to east. Near the town of Kafue, at the eastern end of the flats, the river leaves the basin and flows through the Kafue Gorge, Fig. 8.11. Here its annual discharge has on occasion exceeded 2.83×10^{10} m³, representing a sustained outflow rate over the year of 897.2 cubic metres per second. Over the final 24 km of its course it falls 610 m, plunging over a series of rapids to meet

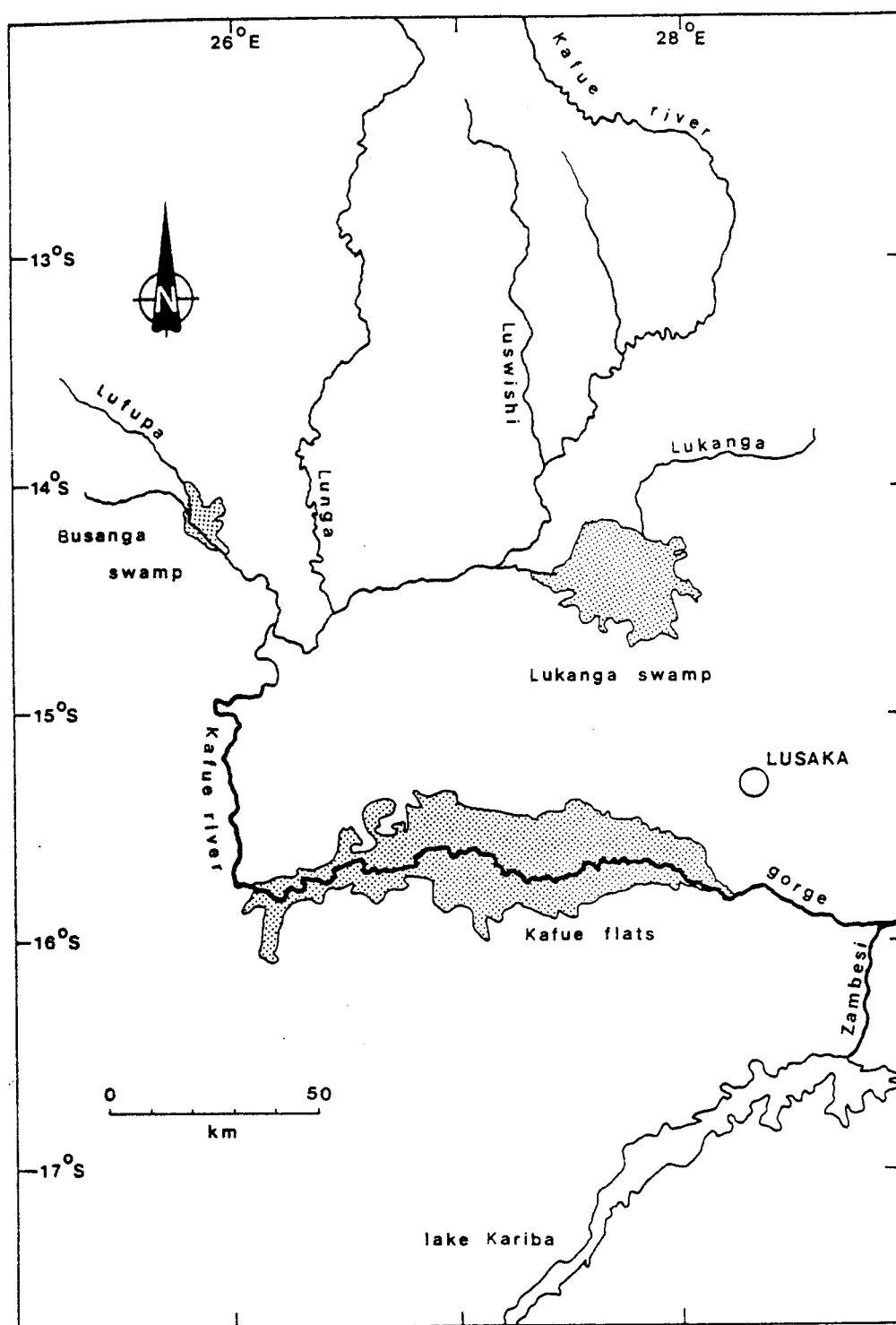


Fig. 8.11 Wetlands of the Kafue River System

the Zambesi River. A dam came into operation for hydroelectric power at the head of the Kafue Gorge in 1972, and another, at Itezihitezhi, designed to control the flood regime of the flats, came into operation in 1978. In its middle course, between the Mpatamatu Gorge and the Kafue Flats, the Kafue River picks up its main tributaries, the Kafalufuta, Lufwanyama, Luswishi, Lunga, Lukanga and Lufupa. Most of these rivers have broad flood plains along some of their upper reaches, and both the Lufupa and Lukanga flow through areas of permanent swampland. The Lufupa flows into the basin of the Busanga Swamp, from which it sometimes fails to emerge in dry seasons. Prior to its confluence with the Kafue, the Lukanga River flows through a shallow depression containing the Lukanga Swamp. This is the largest permanent swamp in the basin having an area in excess of 2100 km². At the height of the rains, flow is reversed in the lower Lukanga and water from the Kafue spills into the Lukanga Swamp, Fig. 8.11. East of Itezihitezhi, seasonal flood waters spread over the broad floodplain of the Kafue Flats, where the greatly re-enforced river crosses the floor of the basin. These flats have a mean elevation of 975 m asl and are situated just north of latitude 16°S and run parallel to it. The flats are some 256 km long and in places over 40 km wide. The area subject to flooding in the wettest years is difficult to ascertain with accuracy; estimates vary from report to report. For example, a maximum area of 4380 km² is given by the Republic of Zambia Ministry of Lands and Natural Resources: ('Zambia Inland Fisheries Development Project', Coopconsult-Propesca S.p.A., Rome, 1982), but an FAO report ('Multipurpose Survey of the Kafue River Basin, Zambia', Vol.III, Rome 1968) claims that floods may cover 5666 km² (1.4 million acres). The entire basin is riddled with 'dambos', low lying, often treeless areas which are seasonally flooded by a combination of direct precipitation, surface runoff and seepage from higher ground. Dambos are particularly common in the highest rainfall areas, where in places they comprise as much as 10% of the landscape. The total water retentive capacity of these dambos is very great and they clearly exert a profound influence on the surface hydrology of the basin.

8.5.b THE KAFUE FLATS

1. Geology

The Kafue Flats are covered by deep sediments of Recent age, while older, Pleistocene, sediments, broken by remnants of hard plinthite crust or outcrops of bedrock, characterise much of the surrounding higher ground to north and south. There is a relatively sharp soil boundary between the flats and the adjacent uplands. The topography of the peripheral land is gently undulating and the surface soils vary from loamy sands to sandy clays. They tend to be highly porous with little capacity to retain moisture, except where a shallow depression reaches basal clay when water collects forming a dambo. The parent soils of the Kafue Flats are heavy, black, cracking montmorillonitic clays, with lime concretions in the lower layers. Ferrolysis occurs because of the alternation of oxidising and reducing conditions imposed by the yearly cycle of flooding and drying. In this process, ferric ions are reduced by soil bacteria when the soils are inundated, and the ferrous ions so produced are exchanged for calcium ions from the clay. The soluble calcium is lost, but upon aeration the ferrous ions are oxidised. This process

leads to the breakdown of the clay, with the release of aluminium and silica, and this in turn promotes the relative accumulation of sand particles over the flats. Eventually ferrolysis produces light textured and very acid topsoils.

2. Climate

Five months of the year are virtually rainless, but these are the coolest months, from May to September. Precipitation over the catchment varies considerably from year to year, and also quite markedly from site to site in any one year. Regardless of total rainfall, a progressive decrease in precipitation generally manifests itself from north to south across the catchment, the mean annual totals being 1 375 mm in the north and 625 mm in the south. In October, warm humid air, from Zaire and the southeast, begins to invade the basin. These conditions prevail until late March, but the principal rains do not usually commence until December; they then persist for four months until the end of March. The rains begin in the north and gradually spread southwards across the basin. As the sun moves north after the equinox, cool southerly winds begin to displace the warm humid air from the basin, the skies clear, and the rest of the year is dry. In July, air temperatures frequently fall to 10°C, and there may be occasional night time frosts. The vagaries of rainfall are far less severe in the northern parts of the basin than in the southern parts where they are reflected by the type of vegetation. The lowest annual rainfall, averaged over the whole basin, was 750 mm in 1921-22, and the highest was 1250 mm, recorded in 1947-48 and 1951-52. Maximum temperatures on the Kafue Flats are in the region of 21°C in mid-winter (June-July), and 32°C in the warmest month (October). Minimum temperatures are at their lowest during June and July, when 0°C is occasionally recorded on the Kafue Flats, but they rise to about 19°C during the summer months. Cloudiness and relative humidity are greatest during the rainy season. The figures given below have been 'averaged' by FAO (report quoted), in an attempt to give a picture for the basin as a whole.

<u>Insolation:</u>	Mean annual daily average		7.7 h
	Mean daily average: July		9.6 h
	Mean daily average: December		5.3 h
<u>Temperature:</u>	Mean monthly	July	16°C
	Mean monthly	October	24°C
	Mean monthly	December	22°C
	Mean annual		20°C
<u>Relative Humidity:</u>	Mean July		56%
	Mean December		79%
	Mean February		83%
<u>Evaporation:</u> (Class A Pan)	Mean annual		1 812 mm
<u>Precipitation:</u>	Mean monthly	July	0 mm
		August	0 mm
		September	0 mm
		October	25 mm
		November	125 mm
		December	225 mm
		January	250 mm
		February	200 mm
		March	150 mm
		April	25 mm
		May	0 mm
		June	0 mm
	Mean annual		1000 mm

3. Hydrology

The natural hydrological cycle on the Kafue Flats is quite dramatic. Fully three quarters of the floodplain can change from an aquatic to a terrestrial environment within a season and areas inundated to a depth of almost 6 m in April may be bone dry by September. At the eastern end of the Kafue Flats, a shallow area approaching 1215 km², is flooded more or less permanently. With the advent of the rains this area is extended westward and when the floods peak in a wet year over 5650 km² may be inundated. The hydrological cycle of the flats is characterised by almost continuous change. Levels are seldom stable for periods of more than 2-3 weeks at a time, and then only at peak high and low water periods. The principal inputs of water to the system are from the Kafue River from the headwater areas above Itezihitezhi (controlled since 1978), direct rainfall over the flats, and seasonal runoff from the surrounding higher ground. Water is lost by discharge through the Kafue Gorge and by evapo-transpiration. Marked annual variations in any one of the three inputs can occur independently of the others, and severe reduction of any one causes quite dramatic changes in the total area inundated and the annual discharge to the Zambesi.

The Kafue River falls only 13 m in elevation in its 425 km course over the flats between Itezihitezhi and Kafue. The average gradient

is thus 3cm/km and there are meanders, oxbows and abandoned channels everywhere. Levees occur on both sides of the main channel as it winds across the plain, although they are not continuous. Around the margin of the flats numerous small sandy deltas have built up where streams from the surrounding lands discharge on to the plain. Thus there is a general depression between the levees and the deltaic periphery of the flats. In this middle region numerous deeper depressions, some connected to the river and some not, are scattered all over the flats and may hold water from one year to the next. Drainage from the lowest lying areas is very slow, with innumerable pools finally drying out by evaporation and seepage. Birds swarm around these places waiting to eat stranded fish.

Drainage of the peripheral land is swift, with rapid surface drying after rain, except where water is trapped in dambos. The small streams which flow from the uplands directly onto the flats show extremely quick responses to precipitation; they may become torrents within an hour of the onset of a rainstorm, but be virtually dry again within a period of 36 hours. The sub-catchment draining directly to the Kafue Flats by these ephemeral streams has an area exceeding 45 300 km².

With the onset of the rains in December a flood crest forms at the western end of the basin and proceeds slowly eastwards, taking 80-90 days to traverse the plain due to impediments provided by vegetation and the low gradient. Peak flood levels are usually reached at the head of the Kafue Gorge in April/May, and in a wet year, high flood waters from the upper catchments may still be coming down at this time. The area of the flats which is inundated can vary greatly from year to year. In 1962-63, a wet year, water reached a depth of 12.1 m at the Kafue Rail Bridge, and extended into woodland areas around the periphery of the flats. Large areas of water were still left on the flats at the beginning of the next rainy season in October 1963, but by contrast, this next season was extremely dry, and in April 1964 most of the flats were dry. Grass fires were observed as early as January 1964. However, with the operation of the Itezhi-tezhi Dam in 1978, the prospect of a more constant flood regime emerges. A two volume report ('Kafue Flats, Hydrological Studies', DHV Consulting Engineers, Amersfoort, 1980) contains a computer model designed to maximise water availability and to assist in the regulation of water flow over the flats, but little if any use has yet been made of this. To date the effects of regulation have been erratic and unpredictable.

Water Balance: Many reports conflict with each other, or contain contradictions in terms. However, measurements at the Kafue Rail Bridge since 1905 have revealed a pattern in annual runoff for the catchment, in which 3-4 successive dry seasons are followed by 3-4 successive wet ones. Moreover, over the past 70 years the annual runoff measured at this site has almost doubled, the most substantial increase having occurred since 1930. This seems to be due in major part to an increase in annual precipitation, but also to changes in land development and use. It has also been postulated that the discharge of aerial pollutants from the chimneys along the Copperbelt, which began to discharge in the 1930's, have led to cloud seeding. Today the mean annual runoff for the entire catchment is

estimated at about 10×10^6 acre/ft or $1.216 \times 10^{10} \text{ m}^3$, of which some 73%, or $8.876 \times 10^9 \text{ m}^3$, reaches the Kafue Rail Bridge ('Multipurpose Survey of the Kafue Flats', FAO, Rome, 1968). The remaining 27%, or $3.284 \times 10^9 \text{ m}^3$, is thought to be lost by evapo-transpiration jointly from the Kafue Flood Plain (56% or $1.839 \times 10^9 \text{ m}^3$) and the Lukanga and Busanga Swamps (44% or $1.444 \times 10^9 \text{ m}^3$).

4. Physico-chemical properties of the water

Seasonal changes are dramatic. In lagoons with abundant submerged vegetation, dissolved oxygen remains near saturation level throughout the year. By contrast in the river channels, dissolved oxygen falls as the season progresses. Most of the floodplain dries during the dry season and chemical nutrients are released by the decomposition of biota, by burning, and from the faeces of animals which invade the area to graze, principally domestic cattle and antelopes. With the advance of the season the nutrients dissolve and are taken back into plants as the flood plains are moistened by the rains. The magnitude of this process increases with progressive inundation. The flood plain is characterised by alternate periods of fallowing and flooding which leads to higher productivity than in most other types of aquatic systems. The dissolved oxygen cycle on the flats determines the spatial distribution of fishes. In new and shallow flood waters the dissolved oxygen content is high. However, all but shallow waters quickly become oxygen deficient as the flood progresses and waters deepen, and they may remain this way until the peak of flooding, due to a prolonged biochemical demand for oxygen for decomposition. De-oxygenated water is chiefly populated by Clarias spp. which can utilise atmospheric oxygen.

The pH of the water on the flats rises as the flood recedes, from about 6.8 when the flood peaks in March to maxima of around 8.2 in September. Conductivity rises from about 95 micro Siemens in March to over 350 micro Siemens in November, while the total dissolved solids rise from about 60 ppm in March to about 210 ppm in November. However, in comparing the chemistry of water from Itezihitezhi with that from the Kafue Rail Bridge it is apparent that pH, total dissolved solids and suspended matter decrease as water traverses the flats from west to east, due to precipitation and deposition over the flats. For example, while incoming water at Itezihitezhi had a pH of 7.9 in May 1964, outgoing water at the gorge had a pH of only 7.1, and while incoming water contained 124 ppm total dissolved solids outgoing water contained only 105 ppm.

5. Algae

There is little reliable information on the phytoplankton of the Kafue Flats. The periphyton is dense, especially on plants in the permanently inundated regions at the east of the flood plain.

6. Macrophytes

The Kafue Flats are grasslands, having in places, clear vegetational zones determined by the depth and duration of inundation they receive. However, within these zones, changes of dominant vegetation may occur in association with the alternation of aquatic and terrestrial environments, and also with annual variations in the extent of flooding. Over 40 herbaceous communities have been recognised on the flats and the vegetation has been described in some detail by van Rensburg (1968).

The landward margins of the floodplain are covered by mixed swards of Hyparrhenia filipendula and Setaria ciliolata, but these species, which extend up into the surrounding woodlands, are killed by prolonged flooding. They are replaced by tussocks of Hyparrhenia rufa, reaching up to 2 m in height, in wetter areas. Hyparrhenia rufa, together with bushes or low trees of Acacia polyacantha, Maytenus senegalensis, Phoenix reclinata, and Rhus quartiniana are found on the deltas, and along drainage lines which extend onto the flats and peter out as elevation decreases. A twining legume, Teramnus andongensis, is common throughout all this landward vegetation.

Where flooding is regular but comparatively shallow, and where the soil surface dries each year, a mixed grassland develops, containing species such as Chloris gayana, Cynodon dactylon, Panicum repens, Setaria sphacelata, and Vetiveria nigritana. In saline areas Sporobolus marginatus and Sporobolus spicatus are common. These grasses survive moderate periods of inundation and produce new growth soon after the waters recede. Setaria sphacelata grows particularly rapidly and flowers early; it has been recorded as increasing its height from 15 cm to 120 cm in just two weeks at the beginning of December. Later in the season it may give way to later flowering species, including Hyparrhenia filipendula in drier spots. In swampy areas near the margins, where inundation is usually quite shallow, but where the soil is permanently waterlogged, sedges are abundant, particularly Cyperus digitatus.

Along the levees, where inundation is often only a few centimetres, and seldom more than 2 m in depth, large termitaria are numerous. These reach some 3 m in height with basal diameters of 6-10 m, and are situated 30-50 m apart. A similar, but broader belt of termitaria extends around the periphery of the flats in sites where inundation is of equivalent depth to that on the levées. The marginal termitaria zone occupies about 200 000 ha and carries a characteristic vegetation including Euphorbia candelabra, Sansevieria spp., several trees including Boscia albitrunca, Dichrostachys cinerea, Grewia bicolor, Lannea stuhlmannii, Maerua parviflora, and Popowia obovata, and the grasses Setaria avettae and Vetiveria nigritana. The trees also occur in riverine thickets on the deltas where magnificent specimens of Acacia albida and Ficus sycomorus may also be found.

The more deeply inundated parts of the floodplain are dominated by Acroceras macrum, Echinochloa pyramidalis, Echinochloa stagnina, Leersia hexandra and Oryza barthii (wild rice). The first two

species cover vast areas of the flood plain which is subject to flooding of medium depth. They may occur in monospecific swards, or in association with several other species. Oryza barthii dominates the most deeply inundated flat areas of the floodplain, while Echinochloa stagnina and Leersia hexandra are most common along permanent watercourses. Oryza forms dense meadows during peak flood periods and grows fast enough to keep pace with the rising water, usually protruding by about 45 cm, even in water 5 m deep. The rapid growth phase of the aquatic grasses begins with the rise of flood water in December, co-incidentally with the spawning of most fish species. As the flood crest moves over the flats, decomposing organic matter de-oxygenates all but the shallow fringes, and the juvenile fish find food and shelter in the peripheral zone. After the flood has peaked, primary production begins to decline because of falling temperatures and diminishing photoperiod, but oxygen tension in the deep water slowly improves and brings about a more uniform distribution of fishes. Patchy die-back occurs in the Oryza meadows late in the season, possibly due to locally reduced oxygen tension. With the recession of the floodwater, stranded grasses collapse and cover the ground to a depth of 45 cm or more. They are burnt, grazed or trampled down. Species such as Echinochloa pyramidalis, Echinochloa stagnina, Paspalum polystachyum and Setaria sphacelata begin to grow early and may become green again soon after the ground dries in July and August. They make their maximum growth in December and January. Annual herbs and grasses often appear on the flats in the wake of the collapsed water grasses and among the former. Vernonia glabra and Vernonia kirkii are common throughout the floodplains on unchanged black clay soils. In the driest years great areas of Oryza are killed by drought and revert to mixed grassland in which Echinochloa pyramidalis, Hyparrhenia rufa, Panicum coloratum, Setaria avettae and Setaria sphacelata are prominent. In the wettest years, Oryza extends its range and overcomes these species. At these times the lower savanna woodlands are flooded, occasionally to depths of 3 m, and in consequence the incidence of riverine flood tolerant trees increases towards the flats, but Colophospermum mopane has been known to survive prolonged deep inundation.

A few species appear to be characteristic of permanent water holes on the flats and these include Aeschynomene fluitans, Burnatia enneandra, Floscopa glomerata, Ipomoea aquatica, Polygonum senegalense and the grasses Leersia hexandra, and Sacciolepis africana. Most of these species also occur on lagoon margins and river banks together with Echinochloa stagnina and Vossia cuspidata and extensive stands of Typha domingensis and Cyperus papyrus. Often these latter plants detach from the banks and float away in great rafts or suds. Currents keep some deep water areas free of macrophytes, but submerged and floating aquatics are abundant in still water. The floating plants may smother vast expanses of otherwise open water, especially at the eastern end of the floodplain. These include Aponogeton desertorum, Azolla pinnata, Eichhornia crassipes, Nymphaea capensis, Nymphoides indica, Ottelia exserta, Pistia stratiotes, and several duckweeds. Beneath the water, Ceratophyllum demersum, Limnophila indica, Najas pectinata, and Vallisneria aethiopica are common submerged species. Eichhornia crassipes is most common in the gorge area, both above and below the dam, and the use of herbicides to remove it has met with only limited success.

7. Invertebrates

There is little information on the invertebrate fauna of the Kafue Flats except for the termites and the species that cause or transmit diseases. Among the former, Cubitermes sp. builds small mounds less than a metre high, and Odontotermes sp. builds large mounds. Both occur on the fringes of the floodplain and on the levees. Among the vectors of diseases there are the mosquitoes Anopheles funestes & A. gambiae, which transmit malaria, the aquatic snails Biomphalaria pfeifferi and Bulinus globosus which transmit Schistosoma mansoni & S. haematobium respectively (the causative agents of urinary and intestinal bilharzia), and Limnaea sp. which transmits liver fluke to cattle. Bulinus globosus is also believed to transmit Schistosoma margrebowiei which causes schistosomiasis in aquatic bovidae and domestic cattle. Bulinus globosus is the commoner of the two aquatic snails mentioned, being found all over the flats on submerged vegetation in ponds and streams, but also in pans where, in the dry season, it can aestivate in the mud.

8. Fish

Sixty-seven species of fish have been recorded from the Kafue Flats, and lists of these are given in 'The fisheries of the Kafue River Flats, Zambia, in relation to the Kafue Gorge Dam', (FAO Report SF/ZAM 11-2/F1, Rome, 1971) and by Bell-Cross (1972). The fishing industry in the region is dealt with below.

9. Other vertebrates

The areas of the basin infested with tsetse fly lack domestic animals and in consequence provide reservoirs of game animals which move freely into other areas. Game animals invade the Kafue Flats each year when the waters recede, competing with the domestic cattle for grazing, but their population sizes have diminished drastically over the past 35 years. Before 1950 large herds of buffalo, eland, hartebeest, impala, kudu, lechwe, puku, reedbuck, roan, sable, sitatunga, wildebeest and zebra visited the flats, and cheetahs, hyenas and lions were plentiful, but today several species have been almost eliminated from the area, including cheetah, eland, kudu, lion, reedbuck, roan and sable. The buffalo population is now probably less than 500, and that of wildebeest even smaller. The numbers of red lechwe, once the most numerous species on the flats, had declined from about 300 000 in 1955 to some 25 000 in 1981, in large part because of commercial slaughter for meat. Some protection is now offered to the wildlife by the establishment of two large sanctuary areas on the flats, the Lochinvar and Blue Lagoon Ranches. Other large animals which may be encountered are black rhinoceros and hippopotamus. Among reptiles, crocodiles, turtles and snakes are common. Bird life on the flats is prolific, with substantial numbers of aquatic species in evidence, including cormorants, ducks, egrets, geese, herons, ibises, pelicans and storks, and the largest population of wattled cranes in Africa. In all, over 320 species of birds have been observed on the flats, and a list of these is given in the 'Multipurpose Survey of the Kafue River Basin', Final Report,

Vol.5, published by FAO. Rome, 1968. An account of the ecology of aquatic birds on the flats is given by Dowsett & de Vos (1968).

10. Human activities

Just over one million people, about a third of all Zambians, live in the Kafue Basin, which is nevertheless still very sparsely populated. A large part of the basin is infested by tsetse fly (Glossina morsitans) and is presently unsuitable for human habitation because of the threat of sleeping sickness (trypanosomiasis) and both Trypanosoma gambiense and T. rhodesiense have been identified. In other parts, health conditions are primarily influenced by the occurrence of dambos and other marshy areas which harbour the carriers of malaria and bilharzia. River blindness (onchocerciasis) is rare in the basin, but its vector, Simulium damnosum (a fly), occurs both there and in neighbouring countries where the disease is prevalent. Irrigation projects in the basin could promote the spread of these diseases, so prevention and control measures should be a part of any development project. Fishing and cattle grazing are the two traditional occupations on the Kafue Flats, but in recent years various agricultural schemes have been inaugurated.

Fishing: takes place continuously throughout the annual water cycle on the Kafue Flats. Gill nets, with a stretched mesh size of not less than 7.6 cm, are used during periods of high water from camps around the margins of the floodplain. Villages along the river banks are mostly inundated during high water and are vacated. Most fishing is accomplished from canoes. With the recession of the water, fishermen continue to use gill nets; seining cannot begin until late in the season when suitable beaches are exposed on the river and lagoon sides. It has been estimated that some 5000 fishermen live on the flats, owning between them some 1200 dugout canoes, largely made from Acacia albida trees. A handful of fishermen operate glass fibre boats with outboard motors. The use of weirs, lines and spears on the flats is insignificant. Extensive areas of the flats are underfished because fishing takes place mainly from dugout canoes and is limited to areas within daily paddling range of dry ground. The annual catch varies between 2500 and 10 250 metric tons, having averaged 5808 metric tons during the 13 years 1957-69, according to 'Fisheries Statistics (Natural Waters)', Central Statistics Office, Lusaka, 1970. However, of the 67 fish species known from the flats, only 21 are utilised commercially, and the great bulk of the catch comprises three species of Tilapia and two of Clarias. The economic status of fishermen varies from poor, at subsistence level, to comparatively wealthy. Fish is presently sent to market in a rather haphazard way. Traders come in lorries to collect the catch, which they preserve in ice, but since the lorries can drive only over the dried flats, they are often unable to reach the villages when catches are best. In this case the catch is dried, and sent to market in bundles when transport is available, but much valuable fishing time is then wasted in slitting and preparing the fish.

The operation of the Kafue Gorge Dam alone did not seem to have any adverse effect upon the fishing industry, or the total ichthyomass in the system, but it is likely that changes in the spatial distribution

of fish occurred as a consequence of the new water regime. However, the possibility remains that with the joint operation of the two dams, vegetational changes will occur that may be detrimental to fish stocks. The principal effect of the conjoint operation of the dams seems to be that a greater area of the flats is permanently inundated, thus reducing the area available for the establishment of fishing villages. Although the area inundated at the peak of the flood is not greatly affected in wet years, it is has been reduced in years of normal rainfall, and it seems likely that it will be drastically reduced in dry years. This will greatly reduce the area of shallow water utilised by juvenile fish, and will no doubt prove detrimental to the fishing industry. However, it has been proposed that better management procedures may capitalise on stocks of species that are presently under utilised, and that the annual catch could be tripled on a maximum sustainable yield basis. Certainly some species of commercial importance, such as Tilapia macrochir, are inadequately harvested by gill nets. The provision of access channels through the grass swamps, which would increase the speed and intensity of fishing in remote areas at high water, and the construction of elevated fishing camps in areas of low fishing intensity in the middle swamp, are simple measures that would lead to an increased catch. However, improved transport facilities for the catch are clearly pre-requisite for this. Programs to assess fish stocks accurately and to monitor changes in the vegetation are desirable.

Cattle Grazing: Cattlemen drive their herds on to the flats as the waters recede, at the time when forage on the surrounding uplands is becoming scarce. The uncovered plain provides an abundant source of food; vast quantities of stranded rice grass, Orzya barthii, and other aquatic vegetation is burned, and new terrestrial grasses grow rapidly. Cattle do not readily eat the collapsed rice-grass because it is coarse and frequently covered with mud, but they relish the new growth which appears almost immediately after burning. However, Vossia cuspidata and other lagoon grasses remain palatable and where the water recedes sufficiently, cattle eat them throughout the dry season. The cattlemen move further into the swamps as the season progresses, eventually coming to camp beside the lagoons and main river channel in September. By this time almost the entire floodplain has been burned by grass fires and grazed down by cattle and wild animals. The cattle are then driven back towards the uplands. Estimates of the number of cattle which visit the flats annually are unreliable but there can be little doubt that at least 200 000 and possibly as many as 350 000 domestic animals graze there each year. It is regrettable that only a fraction of the enormous primary production of the grasses over the flats during the wet season is utilised directly. The flats are infested with snails (Limnaea sp.) which are the secondary hosts of a liverfluke, and most cattle are infected. Others develop schistosomiasis, transmitted by another snail (Bulinus globosus), and in consequence a great many leave the flats in poor condition at the end of the dry season, despite the good grazing. Conjoint operation of the dams has decreased the area available for cattle in normal and wet years by increasing the area permanently flooded.

Agricultural Development: The first scheme to be implemented, in 1956, was the Kafue Pilot Polder scheme. This was situated on the Kafue Flats 80 km southeast of Lusaka, and involved the enclosure of 318 ha by a polder to prevent flooding from the Kafue River, but with provision to pump in water for irrigation as required. African farmers were encouraged to grow maize, rice, groundnuts, wheat and potatoes, and to graze cattle, but the scheme was unsuccessful. Large quantities of fertiliser were required and the heavy clay soils were unsuitable. On two occasions the polder was overtopped and the enclosure was flooded. The scheme ran for nine years before the land was taken over by the Zambian Ministry of Agriculture as an experimental station. A number of other projects have subsequently been initiated, with varying degrees of success, using water from the flats for irrigation. Perhaps the most successful of these has been sugar farming. This enterprise was initially located at a private farm, then at the Pilot Polder, and was finally extended to Mazabuka and other sites on the edge of the flats, but in the latter places on upland soils. The greatest potential for the development of the area seems to lie in several small irrigation schemes on tributaries to the Kafue Flats rather than on the flats themselves. Cotton was also grown at the Pilot Polder Experimental station and produced good yields and the prospect exists for growing cotton both on the flats and in peripheral sites. A problem that might be encountered in schemes which involve the prevention of flooding is that dry areas of the flats seem prone to invasion by woody species like Dichrostachys cinerea which produce immense tangled thickets.

LUKANGA SWAMP

This occupies a shallow depression about 2590 km² in extent, but permanent swampland occupies only about 2100 km² of this. However, nowhere is water known to exceed 6 m in depth, even at the height of the rainy season. The capacity of the swamp, between average high and low water marks, has been estimated as 7.381×10^9 m³. It receives water from several ephemeral streams as well as the Lukanga River and has a sub-catchment within the Kafue Basin of some 14 245 km². At the height of the rainy season it receives overspill water from the Kafue River, and large areas of open water persist throughout the year. There is a local fishery, but this is not as important as that on the Kafue Flats, and cattle are grazed in the peripheral areas during the dry season. The vegetation is typical of a seasonal fluctuating swamp. The palms Borassus aethiopium, Hyphaene parvula and Phoenix reclinata, and several sedges, occur in peripheral areas where the water table is always high but surface flooding is uncommon. Where there is permanent standing water there are also large areas of reed and grass swamp which in places reveal a pattern of zonation related to the depth of water (Seagrief, 1962). In the shallowest areas, there are many termitaria which are partly submerged in the wet season. Here Leersia hexandra is dominant, interspersed with sporadic clumps of Cyperus articulatus and Phragmites mauritianus. Where the water is deeper there are discrete sedge zones, chiefly comprising pure stands of Eleocharis sp. In these zones, on patches of open water, Nymphaea capensis and Nymphaea caerulea are common. In water over 2 m deep Typha latifolia comes in, and where the sward opens up, great rafts of floating vegetation occur. These may be up to a metre in thickness and many metres across, and are sometimes able

to support the weight of a man. They comprise mixtures of some or all of Aeschynomene sp., Crassocephalum picridifolium, Cyperus nudicaulis, Hydrocotyle sp., Leersia hexandra, Ludwigia leptocarpa, Marsilea sp., Polygonum tomentosum, Pycnus mundtii and Scirpus cubensis. Other 'open' patches in the Typha zone are covered by water lilies. Areas flooded to depths of over 3 m in the rainy season support dense stands of Phragmites mauritanus, with individual plants reaching almost 9 m in height. They may be rooted 4.5 m below the surface and their inflorescences may rise 4.5 m above it. Local fishermen establish semi-permanent paths through these reed beds in their dugout canoes, en route to fishing grounds in central areas of open water (Fig. 8.11).

BUSANGA SWAMP

This comprises about 1 000 km² of permanent swampland, situated within the tsetse fly zone. It is not exploited by man and is not well known ecologically. Physiographically it is similar to the Lukanga Swamp, but has through drainage to the Kafue River which tends to limit the extent of flooding during the rainy season (Fig. 8.11).

THE LOWER ZAMBESI REGION

The large impoundment at Cabora Bassa marks the end of the middle course of the Zambesi River, after which it descends from the plateau and flows across the lowlands of Mozambique. In this lower region its major tributary is the Shire River which drains Lake Malawi. A barrage at Liwonde regulates the dry season flow, but with little effect upon the flood waters which pass down the river. In its lower course, near the confluence with the River Ruvo and some 150 km before discharging into the Zambesi, the Shire River flows through an extensive, low lying area which is deeply flooded during the wet season. Here the Shire Swamps support one of Malawi's most important fisheries.

8.5.c THE SHIRE SWAMPS

The Shire Swamps comprise two tracts of permanent swampland, the Elephant and Ndinde Marshes (Fig. 8.12). On approaching the marshes the steep sandy banks of the Shire River decline and its waters traverse the marshes through a maze of shallow channels and lagoons, from the almost non-existent banks of which a flood spills over the intervening land in the rainy season. In contracted state, at low water between August and November, the 'marshes' occupy respective areas of approximately 500 and 150 km², but at high water, towards the end of a very wet season, they may be substantially expanded. Elephant Marsh may then attain a length of 90 km and a maximum width of 30 km. The numerous lakes and lagoons, some with areas of nearly 40 km², may have connection with the anastomosing river channels only during the wet season. Islands of elevated land are small in extent and mainly peripheral; the marshes are virtually treeless and are dominated by herbaceous vegetation. Local rains between December and April are relatively unimportant in determining the water levels attained in the swamps, by far the most important factor being the flood coming down river from the vast catchments above Lake Malawi. When in spate the waters of the Shire are dark brown where they enter Elephant Marsh, but quite clear where they

leave it and evidently the swamp traps a great deal of sediment each year. Large areas of the swamps become dry between August and November, and the black soils then become rather saline, but water levels begin to rise again in December and usually peak in May. Some chemical description of the waters of the Shire River are given by Hastings (1973).

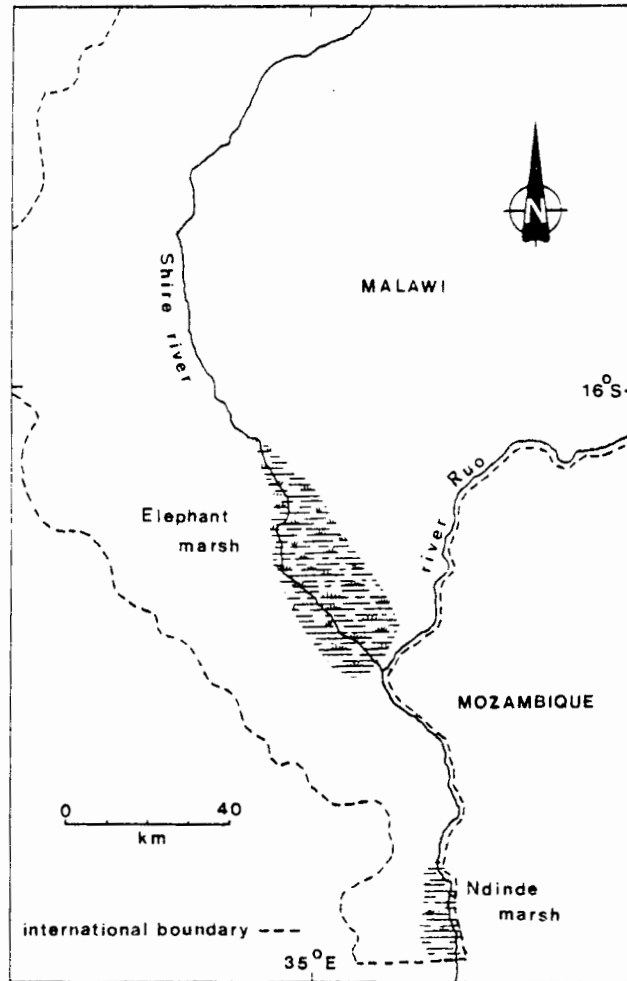


Fig. 8.12 The Shire Swamps

1. Vegetation

The tree flora which includes *Hyphaene* palms (*H. ventricosa*), baobabs, and several other deciduous trees, is almost exclusively confined to the margins of the swamps and the few scattered islands of elevated land just in from the periphery. Hygrophilous grassland occurs in the outermost zone which is flooded only to very shallow depths in most years. Here the dominant species vary from site to site depending upon biotic and edaphic conditions. Where grazing is

intense on the dry outer fringes, Cynodon dactylon forms an almost monospecific sward, but in wetter areas it is joined by Eleusine indica and Eragrostis aspera. In less heavily grazed areas the dominant grass is Sporobolus robustus, forming clumps up to 1 m high, with Echinochloa haploclada and Eriochloa borumensis becoming progressively more important as soil wetness increases. Alkaline sites are characterised by the presence of Sporobolus consimilis.

Moving deeper into the swamps a sedge marsh is encountered in places where inundation is more prolonged but exposure still occurs each year. The width of this zone is variable, depending upon the slope of the land. It may be as narrow as 20 m or as wide as 600 m. Cyperus spp., principally C. articulatus and C. digitatus, are dominant here, reaching 1.5 m in height, with Echinocloa haploclada, Ipomoea aquatica, Leersia hexandra, Ludwigia stolonifera, Nymphaea capensis and Vossia cuspidata as common associates. Free floating species are abundant at high water, including Azolla nilotica, Eichhornia crassipes, Pistia stratiotes and Salvinia hastata. Beneath the surface, Ceratophyllum demersum and Utricularia spp. are common. The flora of this zone changes with the onset of the dry season, as with a lowering of the water, many plants, including free floating species and those with floating leaves and stems, are stranded and die back. The exposed land between sedge clumps is then invaded by annual herbs.

In the broad permanent swamplands which succeed the marshy zone, water depths reach seasonal maxima of about 2 m. Here tall clumps of Cyperus papyrus are dominant and, reaching 3-4 m in height, they are frequently whitened by the guano of roosting birds. In deep water they are surrounded by more open stands of Typha domingensis in which the legume Aeschynomene nilotica, and the floating stemmed species Ipomoea aquatica and Leersia hexandra are found in the water about the stem bases. In less deep, but still permanent water, vast, dense, monospecific stands of Phragmites mauritianus occur, often isolating the papyrus clumps as islands.

The central and most deeply inundated areas of the swamps comprise expanses of open water, which are at times covered by enormous expanses of the free floating species mentioned earlier. Beneath clear water, great beds of submerged macrophytes occur, including Ceratophyllum demersum and Ottelia exserta, all with a prolific algal epiphyton. At the edges of the emergent vegetation of the swamp zone, floating sudds are formed. These eventually become detached and drift away, frequently aggregating on open water, and often causing blockages which lead to the development of new channels. The most important sudd-forming species present are Cyperus papyrus, Echinochloa pyramidalis, Ludwigia leptocarpa, Ludwigia stolonifera and Pycnus mundtii, their roots and rhizomes interweaving and being bound together by masses of Nymphaea capensis and Trapa natans. Early in the season when the water is low, new vegetation extends outwards from the Cyperus - Typha border of the swamp. This often becomes established in masses of old floating vegetation which are banked up by the currents generated when the floods subside at the end of the cycle. In the comparatively shallow water of the dry season, the new vegetation is at first rooted, but with increases in water level and

the development of flood currents following the onset of fresh rains, it is detached from the substratum.

2. Fauna

The marshes are infested by mosquitoes, which cloud the air at night, and malaria ravages the local human population. Because of the nature and size of the swamp effective mosquito control measures are virtually impossible. The fish fauna is typical of the lower Zambesi, and distinct from that of Lake Malawi. With the onset of the rains, fish move from the river channels into the freshly flooded areas to breed, but the diversity of fishes is always greater in the river channels than it is in the swamps. The lungfish, Protopterus annectens, which has been recorded throughout the lower Zambesi system is quite common here, as is the freshwater shark, Carcharhinus leucas. Frogs, including a foam nesting species, abound in the swamps, and together with crickets and cicadas produce a cacophony of sound at night. Crocodiles are abundant, growing to 6 m in length with weights up to 2000 kg, but they are hunted commercially and stocks are slowly being depleted. High waters drown their breeding sites, and successive wet years are believed to reduce their numbers, but no counts have been made. From low flying aircraft they are frequently to be seen in circular ponds in the reed beds which they appear to have cleared for themselves. Bird-life in the marshes is prolific and includes many piscivorous species. Fish eagles hunt the waterways by day while fishing owls hunt them by night, both roosting in the peripheral trees. Reed and pygmy cormorants are common. Grey herons may catch fish while swimming, while other herons, egrets, storks and ibises wade in shallow water and probe the vegetation and the muddy bottom, catching fish, frogs, snails and mussels. Piscivorous and insectivorous kingfishers are present, together with jacanas. Locally the reed beds are full of flycatchers and bee-eaters. With the advent of the dry season and the appearance of islands in the swamp, migrant birds appear, among them ruffs, green shanks and sand pipers, all feeding along the drying margins. Apart from hippopotamuses, large mammals are now uncommon in the marshes, although when Livingstone first explored the area they were abundant. Elephants are now absent from the area despite the fact that Elephant Marsh was named for the presence in it of large herds; one seen by Livingstone's party numbering over 800 beasts.

3. Human activities

The Shire Swamps support an important fishery, producing an average of 15 000 tonnes of fish a year. In view of the fact that the area fished is far smaller than that of the Kafue Flats, and that the annual catches are greater, it would appear that the fishery is operated as intensively as it reasonably can be. There are about 2000 canoes working on the two marshes. These are mostly of the dugout type, but planked canoes equipped with outboard engines are becoming more popular; they were first introduced in the early 1970's, with government assistance, because suitable trees for dugout canoes were becoming scarce. However, planked canoes are unable to slip through the reeds like dugout canoes and are less useful in

many areas. The bulk of the annual catch is made with gill-nets, but longlines, scoop traps, seines, fence traps and spears are also used. Some areas yield much higher catches than others. The catch per canoe per year operating in the eastern part of Ndinde Marsh is for example, on average, twice as great as that taken per canoe per year in the northeastern part of Elephant Marsh. This is probably due to the behaviour patterns of the fish with relation to the vegetation and physiography of the marshes. Catches are also greater in the dry season than in the wet season, but this is believed to reflect the fact that the fish are concentrated in smaller and more accessible volumes of water in the dry season. Over 60 species of fish have been described from the lower Shire River, but only five, Clarias gariepinus, Clarias ngamensis, Sarotherodon mossambicus, Marcusenius macrolepidotus and Eutropius depressirostris, are taken commercially in the marshes. Of these, the first three, two catfish and a cichlid, comprise over 90% of the catch. About 30% of the annual catch is consumed locally, while the remaining 70% is preserved for transport by smoking in kilns, or by sun drying. Access to Elephant Marsh is excellent, there being good peripheral roads and a railway. The north end of Ndinde Marsh can now also be reached by an all weather road, and traders come to the marshes to buy fish for markets in the towns. Some account of the fish fauna of the Shire Swamps is given by Hastings (1973) in the 'Lower Shire Fisheries' Research Unit Report: 1970-73, available from the Fisheries Department, Lilongwe, Malawi. Further information on the Shire fisheries is contained in Willoughby & Tweddle (1978), Willoughby & Walker (1978) and Tweddle *et al.* (1978). Reliable meteorological information for the area is scarce.

The fringe lands are sometimes fired in the dry season and cattle which are grazed on the surrounding lands enter the marsh behind the falling waters. They graze and trample the vegetation, often paddling into shallow water in large numbers. Their dung replaces that which in the past was contributed to the marsh by wild animals. As on the Kafue Flats, parasitic diseases are common in cattle, and many animals are in poor condition when they leave the marsh at the end of the season despite the luxuriance of the grazing.

Sugar is grown under irrigation in the marginal lands, and plans have been mooted for extensive drainage and flood control schemes in Elephant Marsh. However, at present the two marshes provide a livelihood for very many people, and it seems that their destruction by large scale commercial projects would be unlikely to do anything but reduce the number of people the area could support.

WETLANDS OF COASTAL MOZAMBIQUE

Altogether some 50 rivers reach the sea in Mozambique and the seasonal floodplains on these comprise the principal wetlands of that country. To the north of the Zambesi the coastal plain is narrow and the hinterland mountainous and seasonally wet. To the south of the Zambesi the coastal plain is wide and the hinterland generally of low relief and quite arid. The major northern rivers, the Messalo, Lurio, Ligonha and Licungo, make steep descents to the sea in narrow valleys, and significant floodplains tend to be confined to their lowermost reaches on the narrow coastal plain. The Pungue, Buzi and Save, south of the Zambesi, also have steep

upper courses, but more extensive floodplains in their lower reaches, and the Limpopo, Incomati, Umbeluzi and Maputo Rivers all meander across a broad coastal plain and overflow their banks extensively in this region. Other wetlands occur around numerous shallow and seasonally flooded lakes. Among the latter are several large but very variable water bodies, situated in troughs in parallel dune systems on the coast between Maputo and Inhambane. These lakes, some of which reach 50 km in length and 3 km in width, are fed by intermittent streams and may occasionally be in contact with the sea when the outer dunes are breached following cyclonic storms. Other lakes surrounded by seasonal wetlands occur in two major clusters on the coastal plain, one south of Vilanculos, and the other south of Cabo Inhaca in the Mozambican part of Maputaland (Fig. 8.13).

8.5.d. THE ZAMBESI FLOODPLAIN AND DELTA

Where it crosses the broad Mozambique Coastal Plain, the Zambesi River occupies a shallow valley, some 8 km in width. During the dry season the river is confined to several deeply incised channels, but after the rains the floor of the entire valley may be covered by a swiftly flowing current. At its mouth the Zambesi discharges by distributaries through a wide marshy delta obstructed by numerous sand bars, but the banks are steep and flooding in the wet season is often not as extensive as might otherwise be anticipated. Since the beginning of the Quarternary the principal sites of discharge from the Zambesi have migrated up and down the coast between Quelimane and Beira. The River Pungue, which reaches the sea at Beira, was once a major outlet for the Zambesi, but while it captured other streams, its connection with the Zambesi was eventually lost as its upper course silted up and the Zambesi took a more northerly route to the sea. Much of the Gorongosa National Park lies on the floodplain of the old Pungue River. Nevertheless, during an exceptionally high flood in the early 1950's, water from the Zambesi reached the sea at Beira having followed the old course of the Pungue, and throughout this area there are extensive tracts of low lying, ill drained, swampy land. On the southern side of the Zambesi delta there are several other streams that have ceased to function as proper distributaries in recent times. For most of the year they have no connection with the Zambesi and function simply as drains for parts of the delta which are becoming senescent; these channels are tidal and highly saline almost to their sources (Fig. 8.13). On the northern side of the delta the system of distributaries is more complex, and one stream, the Cua Cua, leaves the main river over 150 km inland, west of Mopeia. It reaches the sea at Quelimane and besides having captured other streams en route it branches into several distributary channels. All this suggests that the main discharge of the Zambesi is presently shifting to the north, and indeed during the high floods of 1978 far more land was inundated on this side of the river than on the south, by contrast with the situation at the beginning of the 1950's.

Before the Zambesi was dammed at Kariba a regular flood cycle was observed with peak flows on that part of the river of $5-20\ 000\ m^3\ sec^{-1}$ in February-March, falling to $200-800\ m^3\ sec^{-1}$ in October-November. The impoundment at Kariba reduced peak flows by as much as 24% in some years and increased dry season flows. Since the second impoundment at Cabora Bassa, the flood regime on the lower Zambesi has been extremely erratic and mostly out of season, and flood levels

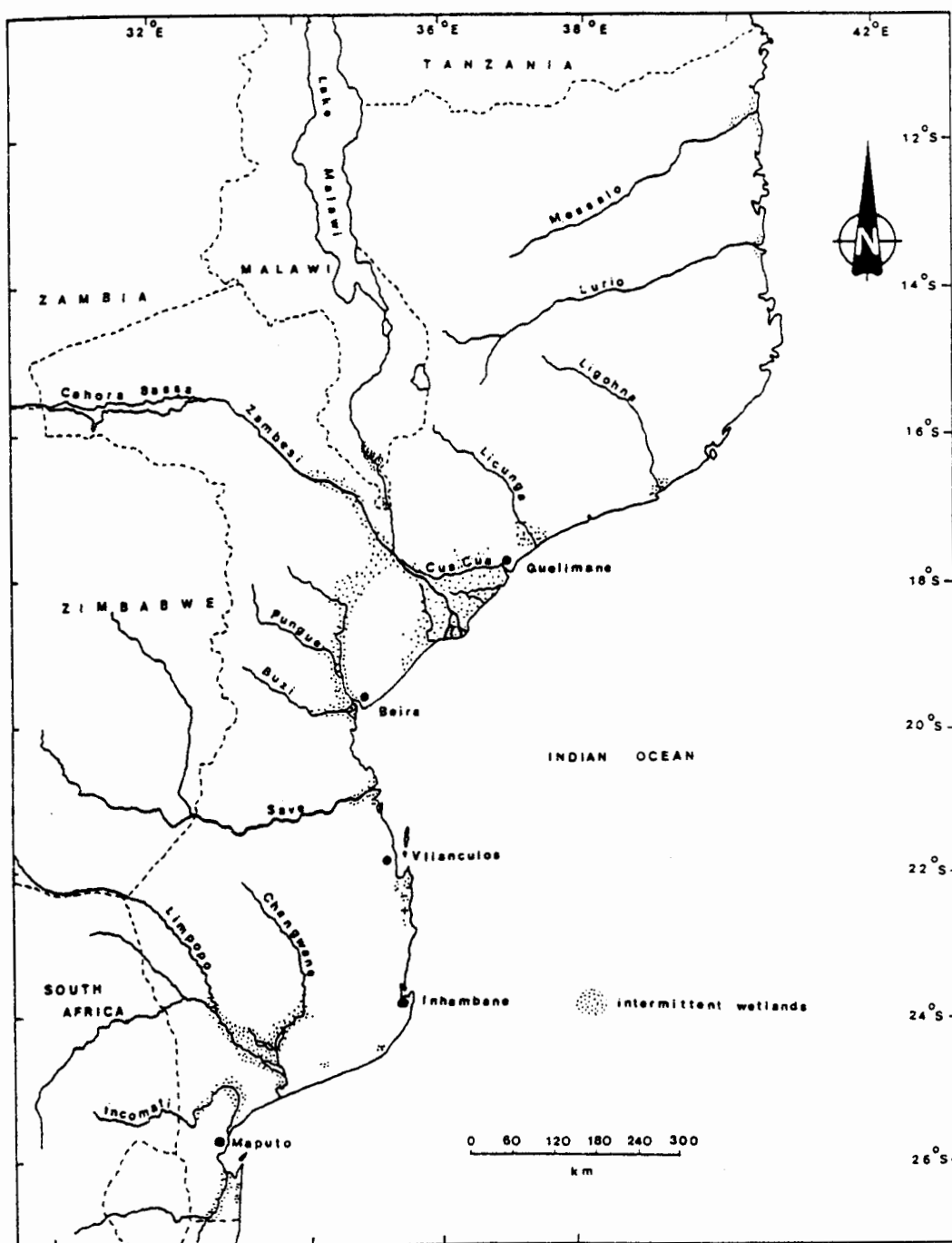


Fig. 8.13 Wetlands of Coastal Mozambique

have been decreased still further. There are now two and occasionally three flood discharges each year. This is largely due to the fact that although 90% of the input to Cabora Bassa is regulated (by the Kariba, Itzehitezhi and Kafue Gorge Dams), major problems in flood prediction remain and there is a fear that the dam could be overtopped. This nearly happened in 1978 when a massive flood was released from Kariba without adequate warning being given to the manager at Cabora Bassa. At present, with minimal electricity generation, because of repeated sabotage, the dam's discharge capability is insufficient to deal safely with large floods, and there is no alternative but to draw down the water level each dry season to accommodate the next wet season flood.

The chemistry of water in the lower Zambesi varies considerably from season to season and year to year. Whether or not this is a reflection of the impoundments is not clear. However, over the five year period 1977-81, Na levels varied between 2.9 and 10.7 mg. l^{-1} , Ca levels between 7.21 and 25.7 mg. l^{-1} , and Mg levels between 1.9 and 5.9 mg. l^{-1} , while Cl varied between 4.0 and 17.4 mg. l^{-1} , HCO_3 between 40.2 and 97.6 mg. l^{-1} and SO_4 between 2.3 and 13.4 mg. l^{-1} . Increases in the concentration of one ion did not necessarily parallel increases in that of any other ions, in fact changes in concentrations of all six ions were more often out of phase than in phase. Over the same period the levels of SiO_2 remained remarkably constant at 5 mg. l^{-1} , organic matter varied between 2.6 and 4.1 mg. l^{-1} , O_2 between 6 and 7 mg. l^{-1} , CO_2 between 1.2 and 4.8 mg. l^{-1} and pH between 7.4 and 8.2. A comprehensive account of changes in the chemistry of Zambesi water at Cabora Bassa in recent years is provided by Bernacsek & Lopes (1984).

Much agricultural development, based on irrigation and flood control, has taken place along the lower floodplain of the Zambesi, and this is especially so along the Cua Cua between the Zambesi and Quelimane. Among other crops, rice and coconuts are grown in areas once subject to flooding.

8.5.e THE FLOODPLAINS OF THE PUNGUE AND SAVE RIVERS

The floodplains of most of the major rivers in southern Mozambique are comparatively narrow, and flows are extremely variable. The bed of the Save river is over 1.6 km wide in many places, but while in summer it may be brim full from bank to bank, flow in winter is frequently confined to a central channel 45 cm deep and scarcely 50 m wide. Chains of lagoons occur along the edges of the floodplain of the Pungue; they are filled each rainy season, but isolated in the winter, when the river itself may be reduced to a trickle in its sandy bed and its tributaries to successions of swamps. Tall grasses then cover the floodplains, with clumps of trees and Borassus palms on old levees and other elevated patches. In these places local people still subsist on fish from the river, water lily roots from the stagnant ponds, and Borassus fruits from the banks.

8.5.f THE LIMPOPO FLOODPLAIN AND DELTA

More development has taken place on the rivers of the south of Mozambique than on those in the north and they are consequently better known. In

the south, small irrigation projects, mostly producing citrus fruits, were quite widespread under Portuguese rule and since independence large scale irrigation works have been undertaken on the Limpopo and Incomati rivers.

On the Limpopo, extensive permanent swamplands and broad flood plains occur some distance inland, behind the barrier dune system along the coast. These wetlands extend from the coastal hills upstream past the confluence with the Changane River to the confluence with the Elefantes (Olifants) River. Each year they are covered to varying extents by slow moving waters, locally up to 3 m deep, but in the dry season, salt water intrusion up the Limpopo makes the waters of the lower permanent swamps brackish. However, a barrage on the river has reduced flooding below Guija and Chokwe in recent years, and has made possible the development of extensive irrigation projects in the region. The irrigated lands are usually on the periphery of the floodplain, but some extend on to it. Good roads and a railway now connect this area with both Maputo and the north and the development of this region is proceeding at the expense of the wetlands. A major new irrigation project, to cover approximately 20 000 ha, is currently being considered for an area adjacent to the Elefantes river floodplain, immediately above the confluence with the Limpopo. This will be supplied by the dam at Massingir which controls the discharge of flood water on the Elefantes River and deals with an average annual volume of 1.8×10^9 m³ of water. Yet other proposals have been made to extend irrigation farming along the Incomati and Umbeluzi Rivers. To the extent that these projects all involve the construction of dams and the consequent alteration of wet and dry season flows, they lead to the shrinkage of the seasonal floodplains.

The catchment for the floodplain of the lower Limpopo is greater than that of any other Mozambican river system except for the Zambesi, measuring as it does some 390 000 km² mostly situated in Zimbabwe and the Republic of South Africa. Precipitation over the greater part of the catchment is light and variable and many of the tributaries and parts of the main stream are ephemeral. An early explorer, Erskine (1869), described some reaches as being isolated pools of water, separated by 3-4 km stretches of shining sand in the dry season, and most tributaries as vast marshy tracts. However, exceptionally high floods have been known to occur after rainfall has been simultaneously heavy over several of the sub-catchments.

The floodplain region (Fig. 8.14) experiences a hot wet summer from November to March and a warm dry winter from May to September. Annual rainfall decreases appreciably with distance from the coast. It is about 800 mm at the mouth of the Limpopo, but only about 550 mm a year at Massingir. June, July and August are virtually rainless, while 80% of the annual total usually falls between November and February. Temperatures range from a mean daily maximum of 34°C in January, with an absolute maximum of 44°C having been recorded at Chokwe, to a mean daily minimum of 10°C in July, with an absolute minimum of 2°C having been recorded on the Elefantes River at Massingir. Frosts are unknown. Humidity is high and fairly constant throughout the year with a mean relative humidity of 72% at 09.00h. Winds are generally light to moderate, with a mean annual average velocity of 7.9 km h⁻¹. Stronger winds are associated with storms which bring rain. The predominant wind direction is south to southeast in the summer, but north to northeast in

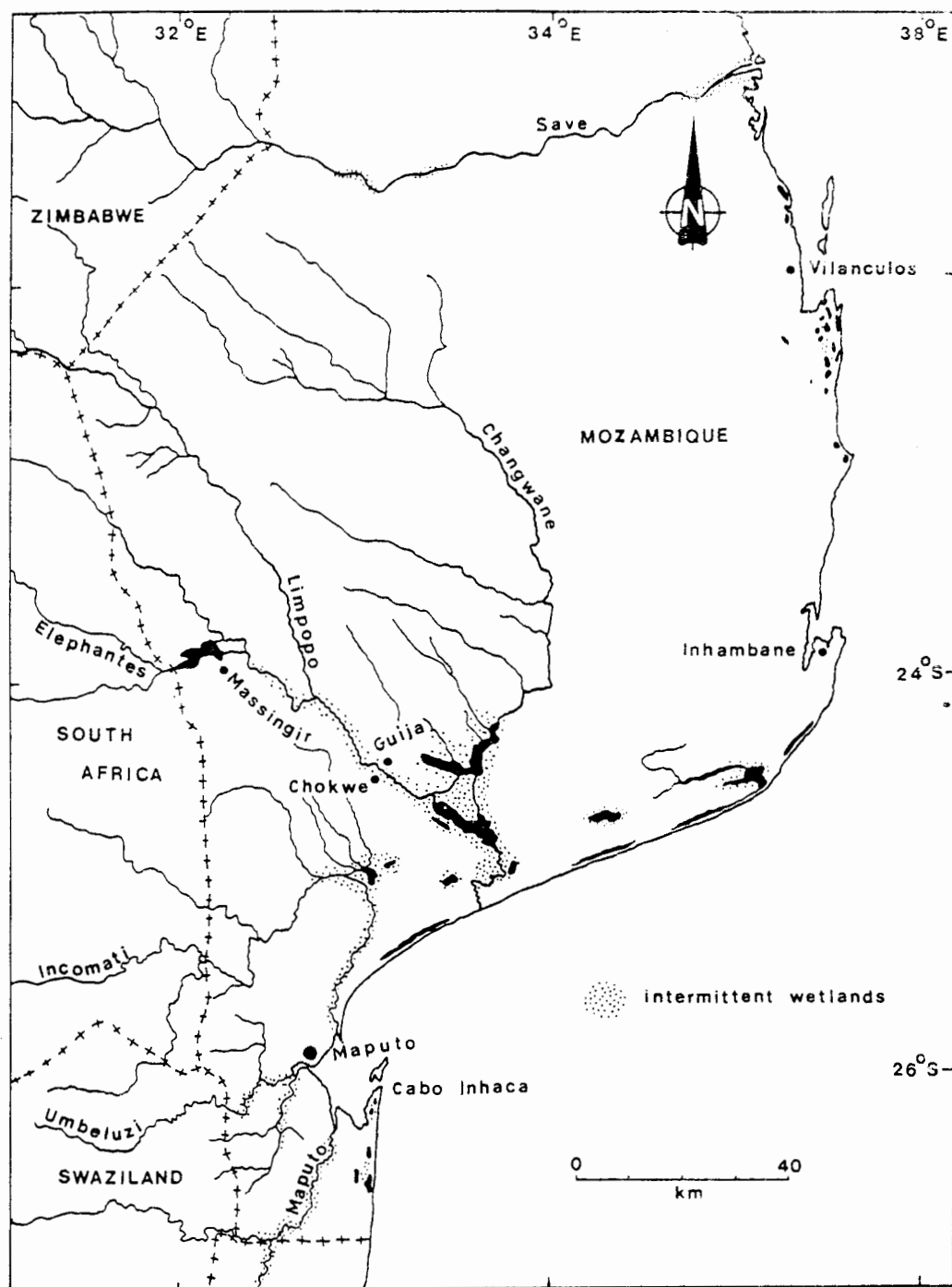


Fig. 8.14 Swamps and floodplains of Southern Mozambique

winter. Sunshine averages 8 h day⁻¹ throughout the year and varies little with the seasons; there is a mean monthly minimum of 7.1 h day⁻¹ in November and a maximum of 8.3 h day⁻¹ in July, however radiation intensity is twice as great in January as it is in June. The mean Class A Pan evaporation is 1800 mm at Massingir and 2288 mm at Chokwe.

The Limpopo floodplain is of Recent age, situated on a wider Pleistocene terrace, all incised into an ancient peneplain. The soils of the modern floodplain are mainly non-calcareous grey-brown eutric fluvisols, according to the FAO Soil Classification of 1974, and they consist of well sorted alluvia. Coarse material accumulates on the levees, and finer sediments are size graded away from the river channels, ranging from sandy loams through sandy clays to fine clays at the edges of the floodplains. In these places there are also some permanently swampy areas with heavy black clay soils, hard against the peneplain and far away from the river. Throughout the floodplains the topsoils have pH values between 6.3 and 7.1, while the sub-soils range from 6.9 to 7.6. Old levees and river channels cover the floodplains, the abandoned channels frequently giving rise to stagnant lakes and ponds. Fossilised oyster beds, at comparatively shallow depths in parts of the floodplain, indicate that marine conditions prevailed in the region in Pleistocene times.

The vegetation of the surrounding country, on the peneplain, is Colophospermum mopane savanna up to 5 m tall, giving way in places to a variety of lower derivative types in which Colophospermum becomes dwarfed and Acacia nigrescens, Albizia anthelmintica, Aloe marlothii, Combretum microphyllum, Fagara capensis and Euphorbia ingens become more common. In some places the broken canopy is less than 2 m high. Dense riverine woodland occurs on broad levees along active channels, and persists in dwarfed form along some abandoned channels, around lakes, and on some extensive gravelly patches in the floodplain. In this vegetation several species are co-dominant, among them Acacia albida, Acacia xanthophloea, Albizia sp., Ficus sur, Ficus sycomorus, and Kigelia pinnata. Climbers occur in this type of woodland, including Capparis spp., Cardiogyne africana, Rhoicissus sp., Popowia caffra and Secamone delagoensis. Along the river banks, and on sand bars and sandy islands in the Elefantess River Phragmites mauritianus is dominant, but down stream it is joined by some Cyperus papyrus and Typha latifolia which are common in the lower swamps. Dense stands of Ischaemum afrum, Sorghum arundinaceum and Leptochloa panicea occur in the peripheral swamps, with clumps of Acacia xanthophloea on patches of elevated land which nevertheless have a permanently high water table. Standing water is generally clear and Ceratophyllum and Potamogeton spp. form dense meadows of submerged vegetation around pond margins, while water lilies tend to occlude the surfaces. Floating grasses are also common.

Animal life on the floodplains has been strongly influenced by the development of towns and agriculture in recent years. Erskine (1868) reported dugongs as far up the Limpopo as the confluence with the Elefantess River, large herds of Hippopotamus, and a veritable infestation of crocodiles. These animals still occur in the floodplain region, but in very reduced numbers. The populations of other large animals has decreased even more markedly, and lions and wildebeest do not now roam the area, while buffalo, giraffe, zebra, elephants, and rhinoceroses are uncommon. Swarms of weaver birds live in the reed beds; kingfishers, fish eagles and hawks are common and aquatic birds abound.

Fraide & Pinto (1954) give some account of the distributions of birds both here and elsewhere in Mozambique, while Gaigher (1973) discusses aspects of the ecology of fish in the Limpopo River. A gastropod, Turritella sp., is especially common in the brackish marshes towards the river mouth. Malaria and schistosomiasis occur throughout the country, and the vectors of these diseases are ubiquitous in the wetlands.

8.5.g LAKES AND LAGOONS OF THE MOZAMBIQUE LOWLANDS

Some coastal lakes provide small fisheries, but they have not become centres for agricultural development. All lie on the coastal plain in the central and southern regions of Mozambique and experience climates similar to that described for regions 8.6 and 8.5.f. (see Fig. 8.2 Bela Vista). A list of the principal lakes and lagoons, with their areas, is given by the Direcção Provincial dos Serviços Hidráulicos, in 'Índice dos Rios, Lagos e Lagoas de Moçambique', Boletim da Sociedade de Estudos de Moçambique, 38: 158-159, 1969. Little scientific investigation has been made of the ecology of these lakes, but those that have connection with the sea appear to be essentially similar to Kosi Bay, described in section 8.6. However, one lake which has received some attention is Lagoa Poelala. This is a permanent water body reaching depths of 24 m with an area of up to 92 km² in some wet years. It has exceptionally clear water, and supports a luxuriant macrophyte flora down to 10 m. Accounts of its benthos and limnology have been given by Boltt (1975) and Hill et al. (1975) respectively.

8.6 THE MAPUTALAND COASTAL PLAIN AND THE KOSI LAKE SYSTEM

by J.S. MEPHAM.

Several important wetlands are situated on the Maputaland Coastal Plain of NE Natal and Zululand. A brief description of this plain is therefore given below, before the detailed accounts of the individual wetlands.

THE MAPUTALAND COASTAL PLAIN

In the Republic of South Africa much of northeastern Natal/Zululand is occupied by a coastal plain, (Figure 8.15), which in earlier times formed part of the sea bed. The plain is narrowly wedge shaped; its apex is in the south, and it attains a maximum width of 80 km in Mozambique to the north. To the east it is bounded by the Indian Ocean and to the west by the Lebombo Mountains, which in places reach an elevation of 600 m. Where the Lebombo Mountains end, at the latitude of Lake St. Lucia, the plain is only 30 km wide. In passing south it becomes much narrower, finally tapering away at the mouth of the Mlalazi River, where the old Cretaceous coastline meets the present one.

Much of this area comes under the jurisdiction of the KwaZulu Government. In the past this region has been referred to by a variety of names, including Tongaland, Amatongaland, British Maputaland and Northern Zululand. The preferred name now is Maputaland, but older literature includes the other names, and these alternatives are given where applicable.

THE COASTAL PLAIN OF NORTHEASTERN NATAL / MAPUTALAND

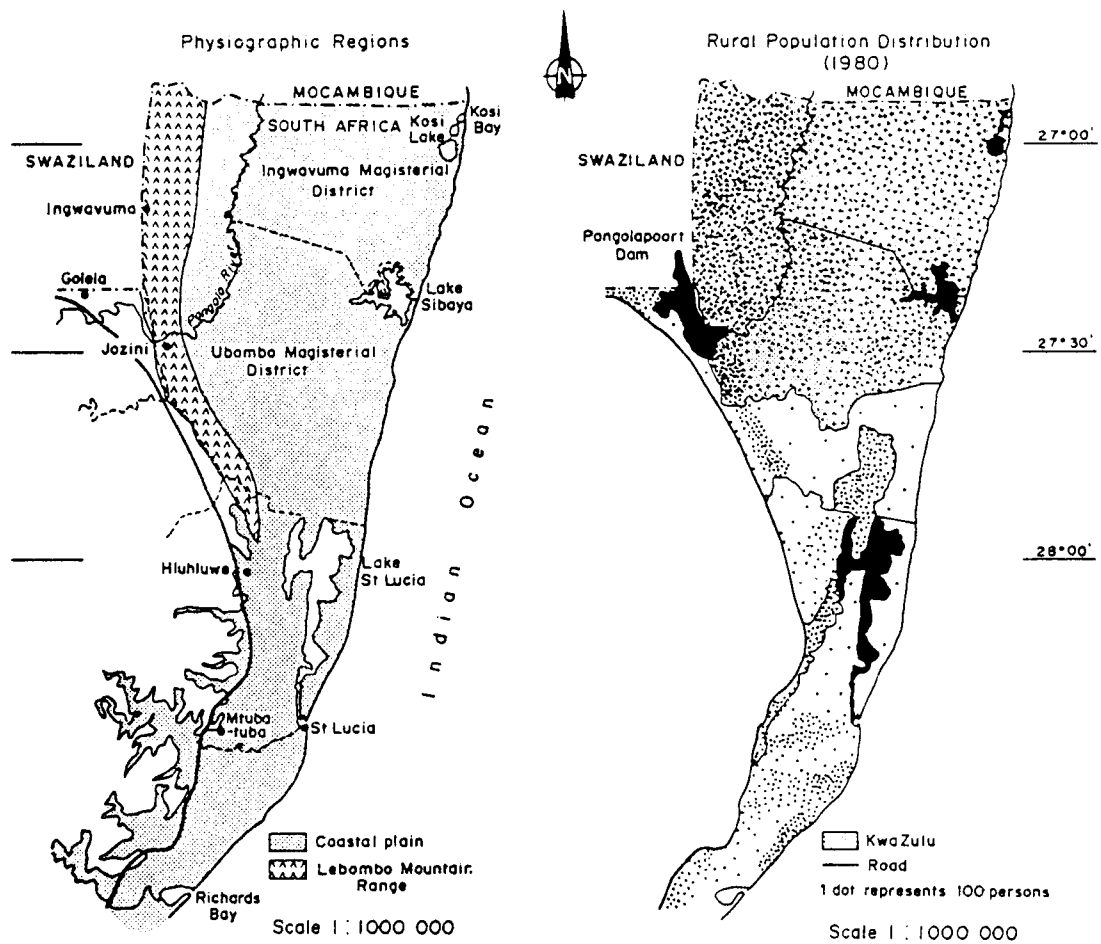


Fig. 8.15 Map of the Maputaland Coastal Plain showing physiographic regions and the distribution of the rural population in 1980

The Maputaland Plain is flat and hot, and is separated from the Indian Ocean by an almost continuous line of forested dunes about 350 km long between the Mlalazi Estuary in Natal, and Inhaca in Mozambique. These are among the highest, forested dunes in the world rising locally to over 180 m in height. The plain is predominantly covered by thornveld scrub, which becomes more sparse towards the north and away from the coast, reflecting trends of increasing temperatures and aridity in these directions. Climatically this plain is transitional between subtropical regions to the north and warm temperate lands to the south, and many tropical E. African plant and animal species reach their southernmost limits of distribution here.

Immediately behind the high coastal dunes a number of lake systems interrupt the plain, while inland the floodplain of the Pongolo River is associated with numerous ox-bow lakes and pans. In the south the St. Lucia System (8.9) consists of wide shallow lakes which drain via a narrow estuary to the sea. Further north lies Lake Sibaya (8.8), a deep, endorheic system, and close to Mozambique the lakes of the Kosi System drain into the Indian Ocean. Further inland, to the west of Kosi Bay, the Pongolo River (8.7) flows across the Makatini Flats to join the Usutu River, before it reaches the sea at the Bay of Maputo in Mozambique. Although these four systems are situated on the same coastal plain, they each show differences in morphometry, microclimate, fauna and flora, and therefore are dealt with separately in the following sections. However, there is little information available regarding either human activities or environmental management for the individual areas, so these points are considered together, later in this section.

1. Geology

The Lebombo Mountains consist of volcanic rocks, rhyolites and basalts, which began to be tilted eastward with the dissolution of Gondwana some 130 million years ago. Subsequent development of the Maputaland Plain to the east has been a consequence of three major marine transgressions, and the progressive but discontinuous activity of the Lebombo monocline. During late Cretaceous times the sea extended to the mountains and a series of marine sediments was deposited, comprising a basal layer of conglomerates, overlain by siltstones, sandstones, shales and limestones. Following uplift and extensive erosion during much of the Tertiary, another layer of conglomerates and sandy limestones was laid down during a Miocene transgression, which did not however, extend more than halfway across the early plain. Later, during the Pliocene a final transgression occurred, again inundating the full width of the plain, and covering the almost flat Miocene surface with a thin layer of calcareous sandstone. Since that time uplift has progressively expelled the sea and extended the coastline eastwards. Whenever sea level remained constant for any appreciable length of time a system of longshore dunes developed. The Maputaland Plain is now characterised by semiparallel lines of stranded dunes, between which the ground is in many places poorly drained and marshy.

2. Human activities and management

(a) Distribution and density of the human population: The Pongolo Floodplain and the Kosi Lake System both lie within the magisterial district of Ingwavuma, an area of 4147 km². During the 1980 census it was estimated that it had 96 238 inhabitants at a density of circa 23 persons per km². The distribution of these people is fairly uniform, except for a slightly higher concentration in the foothills of the Lebombo Mountains, and along the banks of the Pongolo River (Figure 8.15).

Lake Sibaya lies within the magisterial district of Ubombo, although approximately half its catchment area is in Ingwavuma. Again the population is fairly uniformly distributed with a slightly greater density in the west. It was estimated in 1980 that here 85 975 people occupied 4282 km², a density of about 20 persons per km².

Only a few hundred people live around most of the shores of Lake St Lucia, which are controlled by the Natal Parks, Game and Fish Preservation Board (usually referred to as the Natal Parks Board), the Directorate of Forestry and the South African Defence Force. However, the peninsula which separates the two northern arms of the lake, and a small area to the SE of the lake shore are, at present, part of KwaZulu, and in these two areas there is a population density of about 25 persons per km² (Figure 8.15).

There are no towns within the immediate environs of any of these wetlands. The villages of Ingwavuma and Jozini are in the hills 60 to 70 km from the coast, and both have populations of less than 1000. The town of St. Lucia has fewer than 5000 inhabitants, and lies at the mouth of the estuary well to the south of the lake. Thus the population of the Maputaland Plain is almost entirely rural, with a distribution of 20 to 25 persons per km². Ninety-five percent are Africans, who eke out a living by subsistence agriculture, supplemented where possible by hunting and fishing. Many of the men migrate to larger urban areas for much of the year, where they are usually employed as unskilled labourers.

(b) Development: At present the Maputaland Plain is almost entirely undeveloped. There are no towns or industrial areas, and apart from one major trunk road the majority of roads are unmetalled tracks. The Directorate of Forestry has a few plantations of pines and eucalypts near Lakes Sibaya and St. Lucia.

(c) Exploitation: The Pongolo Floodplain has in recent years suffered considerable disturbance and exploitation (8.7).

Lake Sibaya and the Kosi System have suffered little commercial exploitation and are largely undisturbed. The local inhabitants obtain fish by traditional methods such as basket trapping, and within the last ten years there has been a significant increase in gill-netting. Intensive agriculture is restricted by the lack of irrigation facilities and poor access to markets.

The St. Lucia Area has been exploited for tourism under the auspices

of the Natal Parks Board, which has designated special areas for recreation, accommodation and conservation. For further details see section 8.9.

At Kosi Bay the KwaZulu Bureau of Natural Resources operates a small nature reserve of 20 hectares, on the NW shore of Lake Nhlangwe. There is a campsite which is used by sporting fishermen, but access to the reserve requires a permit from the KwaZulu Government.

Mining: The coastal dunes are an important source of minerals including titanium, rutile and zircon. Extraction of these requires complete removal of the sand dune vegetation, and even with 'immediate' revegetation the pristine condition of the dunes is lost. Such deprivations could have a marked effect on the condition of the lakes. Some mining has already been carried out to the south of Lake St. Lucia, and further mining concessions have been granted on the Eastern Shores, and in strips running to the north and south of Lake Sibaya. Exploitation of the mineral reserves could have obvious benefit for the economy of the extremely impoverished areas of KwaZulu, and there is therefore a conflict of interest between raising the standard of living of some of the Zulu people and maintaining areas of intrinsic natural value.

(d) Management for disease and pest control: Malaria is endemic in this area and a programme of spraying dwellings with DDT has been in operation since the mid-1950s. Water bodies are not sprayed, but Begg (1980) reports that a certain amount of pollution occurs as a result of old insecticide containers being washed out in the rivers and streams. Bilharzia is prevalent, but there have been no reports of spraying with molluscicides. Typhoid fever and cholera present regular problems. Rabies and sleeping sickness are endemic in the area. The widespread use of herbicides has not been reported.

(e) Protective legislation: This region of South Africa is very attractive to tourists, and recent statistics have shown that many tourists are more interested in wild life and wilderness areas than in the more traditional tourist resorts. As mentioned in section (c) above, St. Lucia already has areas set aside for conservation. In addition, proposals have been made to increase its size and create a 'Greater St. Lucia-Mkuze Reserve'. Other proposals include a plan for a conservation area for the Pongolo Floodplain, and the creation of a Maputaland National Park, which will include all the areas dealt with in this section. Implementation of these plans may prove somewhat difficult, since preservation of large areas of the natural environment tends to imply preservation of the excessively low standard of living of the people of the area, many of whom think that the conservation areas will occupy potential agricultural land. However, the proposed plan for the Maputaland National Park does take into consideration the rôle of the people in the area.

Much of the foregoing information was kindly supplied by Mr A.M. Little (Chief Town and Regional Planner), Pietermaritzburg, Natal.

THE KOSI LAKE SYSTEM

The Kosi Lake System consists of a series of interconnected lakes, situated on the Maputaland Plain. It lies on the the border between Mozambique and South Africa, and opens via an estuary into the Indian Ocean. It appears that some consideration has been given to developing the estuary as a port, and while there are no publicised plans, this prospect remains an ever-present threat to the environment.

A report of this area is given in Begg, 1978.

1. Geography and morphology (Figure 8.16)

Location: 26°57'S to 27°11'S; 32°38'E to 32°53'E. The Kosi Lake system is located in the NE extremity of the magisterial district of Ingwavuma, in the Republic of South Africa, 2 km south of the Mozambique border. Part of Lake Zilondo (Zilonde) lies within Mozambique.

Area: Total area of pans, swamps, marshes and rivers is approximately 500 km², with a total catchment of 186 500 km².

Landscapes: The System is fringed by low dunes and the vegetation surrounding the lakes comprises saltmarsh, seasonal swamp forest and tidal forest.

Morphometry: The system consists of a chain of roughly circular lakes orientated along an ENE/SSW axis.

Morphometry of the Kosi Lake System:

Main features from S to N	Area km ²	Axial Length km	Max Width km	Max Depth m	Mean Depth m	Volume km ³
Sihadhla River	-	-	-	1.5-3	-	-
Lake Amanzimnyama	1.5	-	-	2	-	-
Ntolweni Channel	-	-	-	-	-	-
Lake Nhlanga	37	7.3	6.1	31	7.2	0.220
Mtando Channel	-	-	6-8	1-2	-	-
Lake Mpungwini	2.8	2.0	2.0	18	8.1	0.023
Lake Makhawulani	0.8	1.0	1.0	8	-	-
Enkovugeni	3.1	6	1.5	1-1.5	-	-
uKhalwe Inlet	0.16	1.5	0.1	3	-	-
Estuary	-	-	-	3	-	-

2. Climate

There is no specific information available, but it follows the general regional pattern of hot, wet summers (January) and cooler, dry winters (July). See sections 8.7 and 8.8 for more indication of the climate of the area.

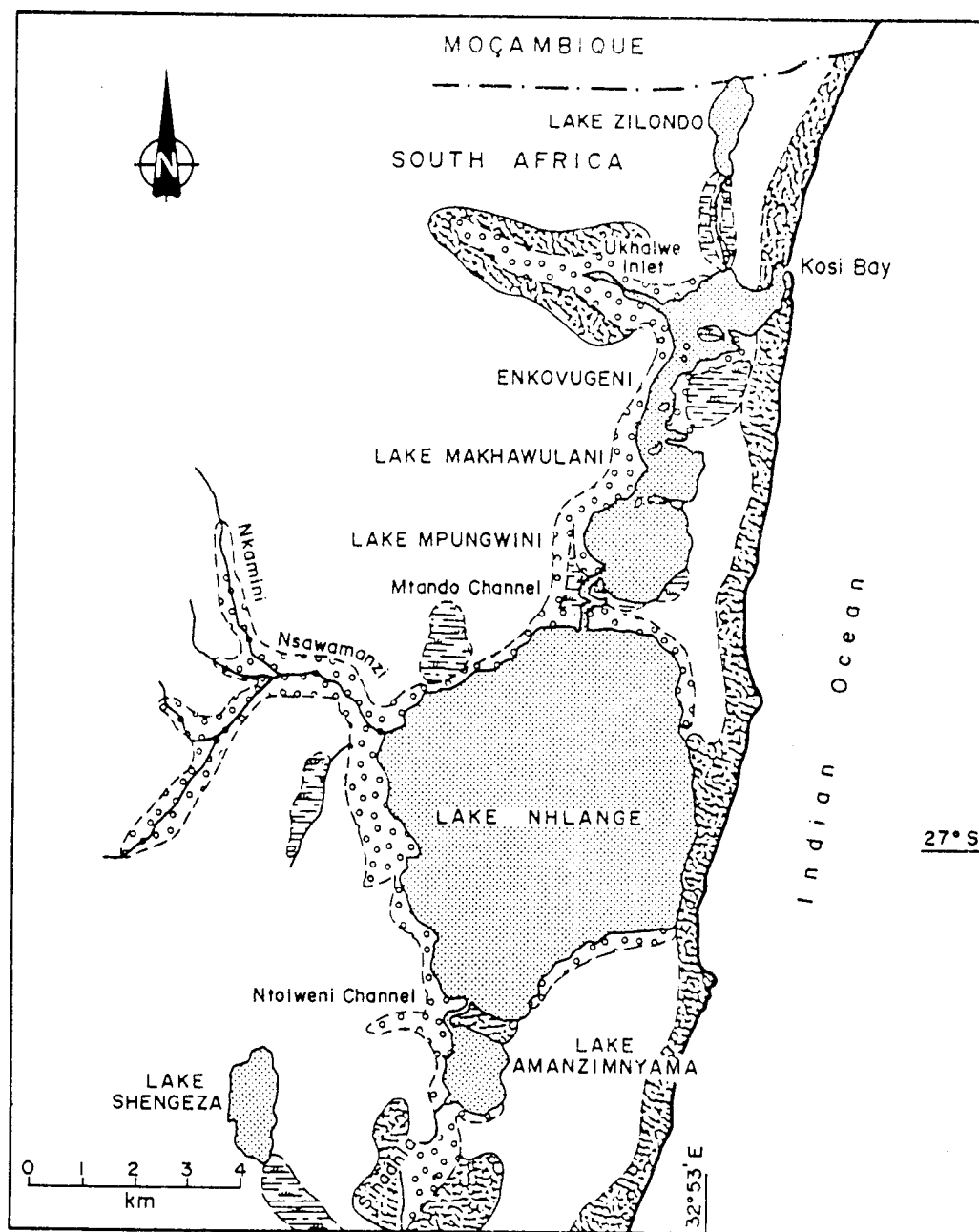


Fig. 8.16 Map of the Kosi Lake System

3. Hydrography and hydrology

Two principal rivers drain into the system. The Sihadhla rises in the Mtombeni pans, is about 30 km long and receives a network of tributaries before it enters Lake Amanzimnyama, while the Nswamanzi River which is about 15 km long, receives water from nine principal tributaries and enters Lake Nhlanga on its western shore. The rivers drain through clean sands bringing very little silt to the lakes. The mouth of the estuary is usually open but varies in size with every tide, oscillating between widths of 5 and 100 metres. In August 1965 it closed and as a consequence of a cyclone the water level rose by 1.6 m during which time much of the mangrove community was killed. It remained closed until it was artificially opened in January 1966.

4. Physico-chemical characteristics of the water

Temperature: The lakes of the system are warm and show complex patterns of stratification. In the cool season the water is about 19°C and in the summer is about 30°C, rising to 39°C in the shallow regions.

Oxygen: Apart from the water in the hypolimnion of Lake Mpungwini, the waters of the Kosi system are well aerated. At the surface concentrations are 7.3–8.6 mg.l⁻¹ and at 10 metres 7.0–7.7 mg.l⁻¹.

	Conductivity 10 ⁻⁶ S.cm ⁻²	Transparency (Secchi disc) m	Salinity ‰
Lake Amanzimnyama	900	1	lowest 8.4
Lake Nhlanga	4 000	1.2	0.9–4.2
Lake Mpungwini	8 000	3.7	shows layering
Lower Kosi	20 000	clear	
Enkovugeni	1 000	–	–
Lake Zilondo	800	0.6	–

Major ions (Lake Nhlanga, 1967):

	Cool Season	Warm Season
Na	1846.0 mg.l ⁻¹	2450.0 mg.l ⁻¹
K	3.6 mg.l ⁻¹	–
Ca	52.8 mg.l ⁻¹	84.1 mg.l ⁻¹
Mg	101.0 mg.l ⁻¹	75.0 mg.l ⁻¹
HCO ₃	121.0 mg.l ⁻¹	144.0 mg.l ⁻¹
Cl	3.0 ‰	3.9 ‰
NO ₃ (surface)	16.0 10 ⁻⁶ g.l ⁻¹	74.0 10 ⁻⁶ g.l ⁻¹
NO ₃ (5–10 m)	52.0 10 ⁻⁶ g.l ⁻¹	63.0 10 ⁻⁶ g.l ⁻¹
PO ₄ (P)	+19.0 10 ⁻⁶ g.l ⁻¹	–
SO ₄	209.0 mg.l ⁻¹	–
SiO ₂	7.1 mg.l ⁻¹	–

5. Macrophytes

Submerged macrophytes are not very common in the lakes. Potamogeton pectinatus occurs in a stunted form at depths of 2 to 3 metres in the

margins of the more saline lakes (Boltt and Allanson 1975) and some Ceratophyllum demersum and Najas marina may also be found. Floating leaved macrophytes are represented by Nymphaea capensis and Nymphaea caerulea, which are found along the edges of the system. Emergents are found along the margins of the estuary including among others, the tall grass Phragmites australis, the fern Acrostichum aureum, and the sedges Cladium mariscus, Cyperus papyrus, Juncus kraussii and Scirpus litoralis. Swamp forests occur in pockets on parts of the lakeshore and along drainage channels leading to the lakes. Syzygium cordatum, Ficus trichopoda (= hippopotami), and the palm Raphia australis are found along the banks and streams of the system. The forest floor is covered by an abundance of ferns, and climbers such as Stenochlaena tenuifolia are conspicuous. In the tidal forest Bruguiera gymnorrhiza is probably the commonest arborescent species present, but Avicennia marina and Rhizophora mucronata are locally abundant in the seaward parts of the forest and along some drainage channels. Barringtonia racemosa and Hibiscus tiliaceus are also common and dominate some of the landward areas. Along the eastern side, and towards the mouth of the system, mangrove forest directly abuts dune vegetation at the limit of tidal influence, but on the western side the transition to terrestrial vegetation is more complex and interference has been greater. Over large areas of the forest, Bruguiera trees are stunted and bushy, growing as they do on predominantly sandy soils. The majority are less than 4.5 m tall, and many are dead, killed by a period of continuous flooding in the wake of a cyclone. They stand scattered, or in groups, as bleached silver trunks among the green of the living trees. However, along creeks on the eastern shores, Bruguiera trees have been measured as reaching 18 m in height. Two other mangrove species, Ceriops tagal and Lumnitzera racemosa, also occur here at the southern most limit of their distribution in Africa, but they are uncommon.

6. Phytoplankton

The most abundant alga is Microcystis sp., which is especially abundant in the uKhalwe inlet.

7. Invertebrates

The lake system is not rich in zooplankton. Hemens *et al.* (1971) found the greatest density on the eastern shore of Lake Makhawulani. Oliff *et al.* (1977) obtained a maximum of 3500 zooplankters per haul, comprising mainly the copepod Pseudodiaptomus hessei.

The density of benthic fauna decreases markedly with depth, and is particularly sparse where the bottom is muddy. Hemens *et al.* (1971) recorded 30 species of bottom dwelling animals. Forbes (1979) considers the sand prawn Callinassa kraussii to be the major infaunal organism of the system, although it is confined to Lake Mpungwini, Lake Makhawulani and the southern section of the tidal basin.

Hemens *et al.* (1971) recorded 28 epifaunal species among the marginal vegetation of the Mtando Channel and in the margins of Lake Nhlangwe.

The dominant species included Musculus virgiliae and various detritus feeding crustaceans (amphipods, isopods and tanaids).

8. Fish

Blaber (1978) has listed 133 species of fish present in the Kosi system including 85 marine species found in association with the reef at the mouth, or which penetrate the tidal basin, 39 resident estuarine species which penetrate the system beyond the tidal basin, and 9 fresh water species. The Kosi system is considered as a prime fishing resort and the estuary appears to fulfil an important nursery function, as juvenile fish mature there before migrating back to the sea (Wallace et al. 1971; Heydorn 1972; Heydorn and Wallace 1973).

9. Other vertebrates

Reptiles: Crocodiles are not common in the Kosi System, and are restricted to the fresh water lakes Zilondo and Amanzimnyama. Three species of semi-aquatic snakes have been recorded by Bruton and Haacke (1975).

Birds: Birdlife is prolific in the Kosi area, although more are associated with the surrounding forests than the water. Tinley (1976) has listed 247 different species. No single species is outstanding in terms of its abundance, but several are at their southern most limit in Africa, and a few species are rated 'rare' in South Africa (including crab plovers, fishing owls, flufftails and white backed night herons).

Mammals: The hippopotamus population appears to have increased from 19 in 1958 (Tinley 1971) to 31 in 1980 (Begg 1980). They are found mainly in Lake Amanzimnyama.

8.7 THE PONGOLO RIVER FLOODPLAIN

by J.S. MEPHAM

The Pongolo Floodplain lies at the eastern foot of the Lebombo Mountain Range, on the Maputaland Coastal Plain of South Africa. It comprises a low lying area of approximately 1200 km² immediately adjoining the Pongolo River, and includes seasonally flooded land, marshes and floodplain pans which capture and retain floodwater when the river overflows its banks.

A comprehensive account of this region is given by Heeg and Breen (1982).

1. Geography and morphology

Location: 26°45'–27°30'S; 32°20'–32°33'E. The floodplain of the Pongolo River is situated about 80 km inland from the Kosi Lake

System, on the Maputaland Coastal Plain, close to the border with Mocambique. See figures 8.15 and 8.17.

Altitude: 20-54 m asl (Ndumu to Mfongosi Pan).

<u>Area:</u>	Length of floodplain	north to south	60 km approx.
	Width of floodplain	east to west	20 km approx.
	Total area		1200 km ² approx.

The Pongolo River: The Pongolo River rises in northern Natal, near Wakkerstroom, and flows eastwards, passing between the Lebombo and Ubombo Mountains, which comprise acid volcanic rocks. The river then turns north and flows parallel to the foot of the Lebombo Mountain Range across Cretaceous deposits of marine origin, to join the Usutu River which flows out to sea at the Bay of Maputo.

Landscapes: The floodplain lies to the W and E of the Pongolo River as it flows northwards. It is characterised by a number of seasonally flooded pans and marshes. The pans are sparsely fringed by grass and then by trees. The present course of the river is delineated by a number of low banks and levees, which have to be overtopped before the plain is flooded. A number of terraces bear testament to former levels of the river. The floodplain is surrounded by a flat area, the Makatini Flats.

2. Geology

The Pongolo River drains over sands of Tertiary and Recent origin which were laid down as described in section 8.6.

The soils of the floodplain originate from a number of sources; the weathering of the acid volcanic rocks of the Lebombo and Ubombo Ranges, the Cretaceous deposits at the foot of the mountains, the Tertiary and Recent windblown sands, and alluvium deposited by the river, which has come from further inland.

3. Climate

Records given are from the Makatini Agricultural Station, which lies just outside the floodplain area at 27°24'S and 32°11'E at an elevation of 71 m asl

Type code: BSw (köppen)

Insolation: (hours of sunlight)

annual:	daily mean	7.4 h
month of highest	August, daily mean	8.2 h
months of lowest	Oct. Nov., daily mean	6.6 h

Wind:

annual	mean velocity	8.0 km.h ⁻¹
month of highest velocity	September, mean	10.0 km.h ⁻¹
month of lowest velocity	June, mean	5.3 km.h ⁻¹
prevailing direction	August to December	N to NE
	January to July	S to SE

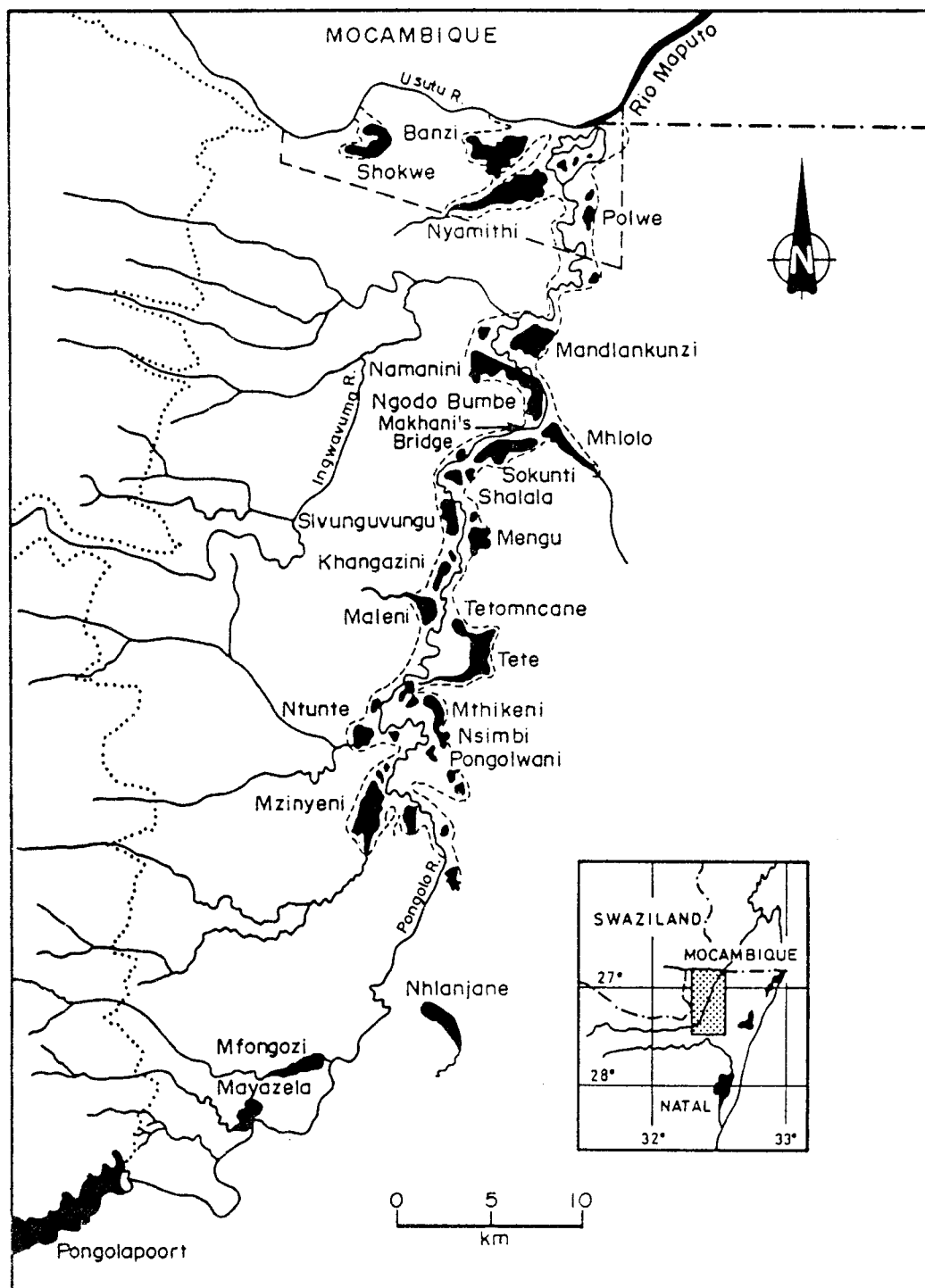


Fig. 8.17 Map of the Pongolo River Floodplain, showing major pans and the Pongolapoort Reservoir

Rainfall:

annual	mean	572.6 mm
month of highest	February, mean	105.6 mm
month of lowest	June, mean	4.6 mm

Relative Humidity:

08h00	annual, mean	73%
months of highest	May, June, July, mean	86%
month of lowest	September, mean	70%
14h00	annual, mean	47%
months of highest	February, March, mean	54%
months of lowest	July, August, mean	39%

Evaporation: Class A Pan:

annual mean	2 388.0 mm
month of highest	January, monthly mean 276.0 mm
month of lowest	June, monthly mean 118.0 mm

Air Temperature:

annual	mean	22.1°C
annual	mean maximum	28.7°C
annual	mean minimum	15.8°C
month of highest	Jan, mean maximum	40.3°C
month of lowest	June, mean minimum,	2.3°C

4. Hydrography and hydrology

The area shows marked seasonal activity. In spring, (September, October) there is some rainfall in the catchment area and on the plain, but river flow rates are low and there are only a few occasions when those pans with the lowest levees receive water. On the floodplain the rate of evaporation exceeds the rate of precipitation at this time. Consequently pan water levels continue to fall, but water temperatures start to rise. In summer a marked increase in rainfall, particularly in the catchment area, results in major floods with a peak in February, when all the pans tend to fill. The floods may inundate as much as 10 000 hectares of floodplain, where part of the sediment load is deposited. In autumn (April), rainfall and floods are reduced, leaving the pans at their maximum retention levels, but with most of them losing connection with the river. In winter months there is little rainfall and lower temperatures prevail. Evaporation causes water levels in the pans to fall progressively. Water which seeps into some of the pans from the soil is unusually saline, which helps to raise the concentration of the salts, in the already brackish water even further. See figure 8.18.

Pongolo River Flow Volumes (recorded from Golela):

annual, mean	1082	$\times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{y}^{-1}$
highest year, 1938/39	3295	$\times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{y}^{-1}$
lowest year, 1930/31	309	$\times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{y}^{-1}$

About 70% of the total water flows between November and March, with

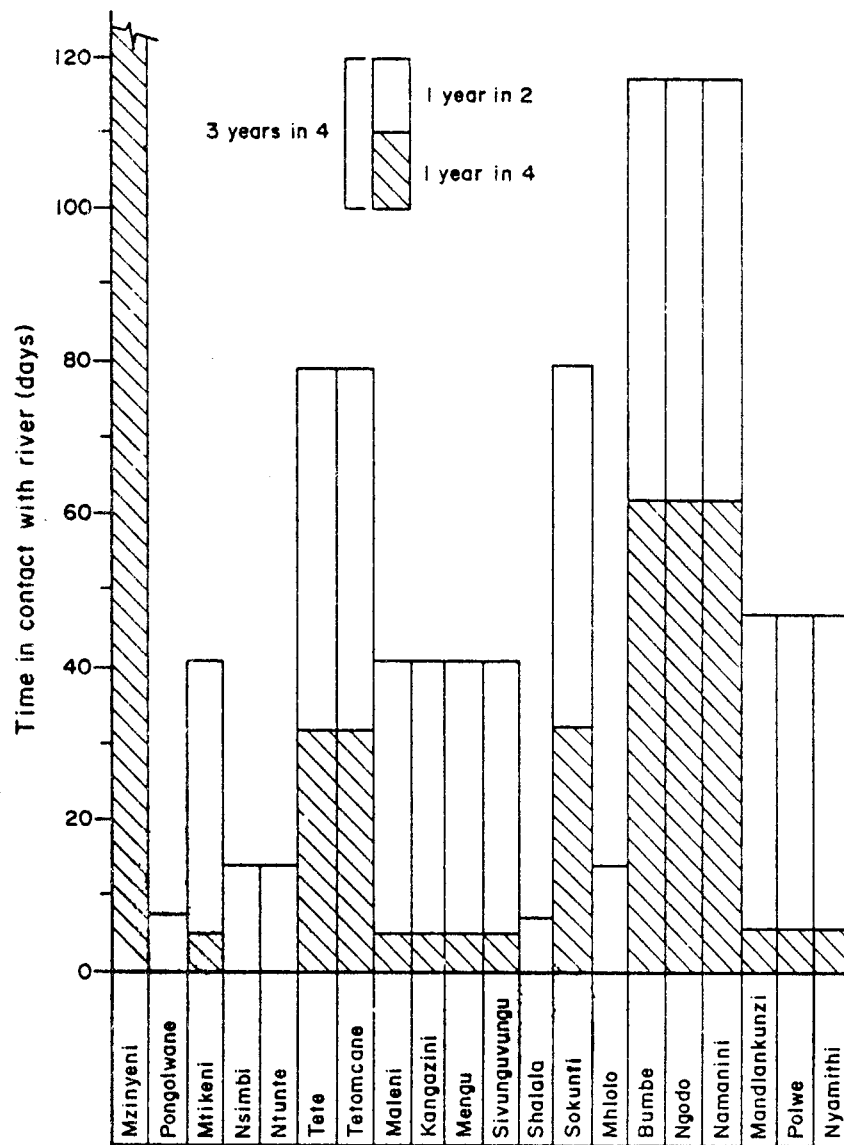


Fig. 8.18 Numbers of days per year during which different Pongolo River pans were in contact with the river.

the greatest volume (17.5%) flowing during February. Although the period from June to September generally shows the lowest volume flow, floods have been recorded during these months, as a consequence of cyclones and storms. The fourth highest flow ever recorded, $563 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{month}^{-1}$, (a daily average of $1975 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$) occurred in July 1963. Detailed records of river flow for the period 1929-72 are given in Heeg & Breen (1982).

Sediment Load: The sediment load is low and has been estimated at $2.1 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{y}^{-1}$, approximately 0.15% of the total volume flow.

5. Physico-chemical characteristics of the water

Values for most parameters (e.g. temperature, pH, turbidity etc.) obviously vary markedly from pan to pan and from time to time. Some comparisons of dissolved solids have been made by Heeg and Breen (1982) which indicate the range between different seasons and between different pans.

Concentration ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$) and composition of the dissolved solids in Pongolo River water during dry and rainy seasons:

Season	Pongolapoort (in mountains)		Makhani's Bridge (coastal plain)	
	dry	rainy	dry	rainy
total dissolved solids	970	110	582	104
sodium	172	12	135	17
calcium	30	6	33	8
magnesium	30	7	33	7
chloride	185	9	165	17
bicarbonate	348	73	331	92
sulphate	11	17	33	9

Composition and concentration (mg l^{-1}) of the dissolved solids of floodplain pans prone to salinisation:

	Nyamithi Pan inflow	Nyamithi Pan mid pan	Tete Pan	Mholo Pan
Total dissolved solids	11 290	5630	3627	1933
sodium	2 645	1400	797	470
calcium	468	73	310	94
magnesium	761	290	181	80
chloride	6 110	2284	2094	760
bicarbonate	305	387	165	344
sulphate	1 153	-	163	-

6. Macrophytes

Five fairly distinct vegetational zones occur on the floodplain, largely determined by the soil types and the frequency of inundation:

- (1) an Acacia xanthophloea - Dyschoriste depressa community, found in the driest areas near the edge of the floodplain;
- (2) a Ficus sycomorus - Rauvolfia caffra community, found as riparian forests along the Pongolo and Usutu Rivers;
- (3) 'lawns' of the grass Cynodon dactylon found in areas of frequent inundation and exposure, especially surrounding shallow pans;
- (4) a Cyperus fastigiatus - Echinochloa pyramidalis zone, characterising the more marshy areas;
- (5) a Phragmites australis and Phragmites mauritianus reed swamp occupying the wettest areas, with long standing water.

The floating leaved macrophytes Trapa bispinosa (water chestnut) and Nymphaea spp. are found as permanent occupants in the pans which have a relatively stable water level (e.g. Mhlolo). The submerged macrophytes Potamogeton crispus and Najas pectinata are found in those pans where a reasonable amount of water is retained over the dry season. These are the principal species which contribute to the primary production of the system.

7. Phytoplankton

The diatom Melosira granulosa and members of the Cyanophyta (blue-green algae) comprise much of the phytoplankton in all pans.

8. Invertebrates

Burrowers such as various fresh water mussels and oligochaetes are found together with the larvae of chironomids and caddis flies. There is an epifauna of snails, dragonfly nymphs and fresh water shrimps. Snails are important as intermediate hosts of bilharzia, especially Bulinus (Physopsis) globosus and Biomphalaria pfeifferi. Studies on invertebrate productivity have been carried out by Walley (1979) who studied the secondary productivity of the oligochaete Branchiura sowerbyi. He found that rates varied seasonally, giving mean annual ranges from 5.9 mg dry wt.m⁻².y⁻¹ for Mzinyeni Pan, to 21.1 mg.m⁻².y⁻¹ for Mhlolo Pan. This is equivalent to 92.97-330.13 J.m⁻².y⁻¹.

9. Fish

There is a very rich fish fauna with more than 50 species having been recorded. Many of these are exploited by the local population, including Tilapia spp., Oreochromis (= Sarotherodon) mossambicus, Labeo rubropunctatus, and Clarias spp. (barbel). In spite of the wide range of fishes occurring here, each species appears to occupy a different ecological niche, so that all food sources are utilised, and competition is kept to a minimum.

10. Other vertebrates

Reptiles: There are approximately 300 crocodiles (Crocodilus niloticus) living on the floodplain, most of which grow to an average length of 2.5 m. They are principally piscivorous, and remove an estimated 16 tonnes of fish per year from the system.

Birds: A great variety of bird life uses the plain, either for breeding or as a feeding habitat. Dendrocygus viduata (white faced duck), Pelicanus onocrotalus (white pelican), Andrea goliath (goliath heron) and Phoenicopterus rufer (greater flamingo) are common in the region, while Anastomus lamelligerus (openbill stork) breeds here at the southern extremity of its range. It is a rare bird elsewhere in South Africa.

Mammals: In the past the Pongolo Floodplain harboured a wide variety of game animals, but these are now very much depleted. A few still remain in the Ndumu Game reserve to the northwest of the floodplain. Hippopotamus amphibius is the only large wild animal still to be found on the floodplain. An estimated 420 survive, most residing in the game reserve, but at any one time up to 50 may be found living outside it. Based on feeding studies by Field (1970) and assuming an assimilation efficiency of 35%, each hippopotamus contributes between 4.2 and 5.2 tonnes of detritus (fresh weight) to the pans annually, giving a total of between 1774 and 2184 tonnes for the system as whole. Domestic stock occur in considerable numbers on the floodplain, more than the environment can support satisfactorily.

11. Annual cycle of the system

Fig. 8.19 summarises the seasonal events of the Pongolo Floodplain ecosystem. In spring Potamogeton crispus is the most important primary producer, supplying food to snails and various other invertebrates, and to visiting water fowl. These birds eventually emigrate exporting some nutrients, but the remaining biota stays in the system. At this time the water levels are low and the Cynodon meadows are exposed and therefore part of the terrestrial community.

In summer, increasing temperatures and/or rising water levels probably trigger spawning in fish. Heavy rains lead to periodic flooding and an increase in the magnitude and duration of successive floods results in different pans becoming flooded at different times. The floodwaters become turbid and this reduces primary production by the aquatic vegetation. However, as the floods cover the Cynodon meadows, the submerged grass, together with other terrestrial plant flotsam, becomes an important food source for the development of the young fish.

During autumn river flow decreases, the floods subside and the water in the pans is held initially at their maximum retention levels. An abundant supply of invertebrates in the pans supports the surviving fish populations. The water becomes clearer and Potamogeton crispus starts to grow again from turions in the mud, while around the pan margins Cynodon dactylon regenerates from rhizomes, and provides energy for domestic stock during the dry winter.

In winter the climate becomes drier, the water levels fall and production of Cynodon dactylon decreases. The standing crop of Potamogeton crispus and its associated epiphyton builds up, and again becomes the major source of energy for the secondary producers.

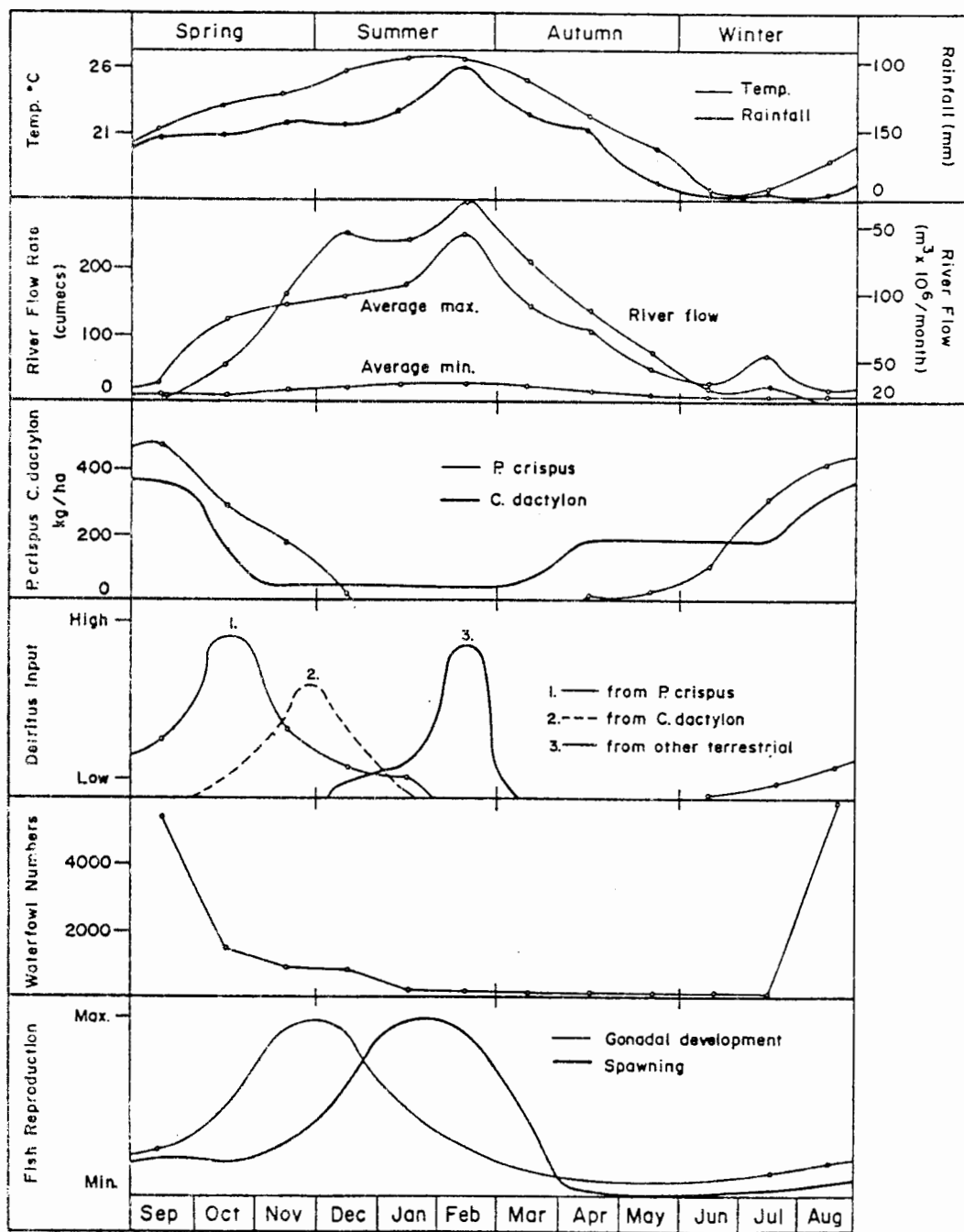


Fig. 8.19 Seasonal fluctuations in standing crop of various components in the Pongolo pans ecosystem.

12. Human activity

The people of the Makatini flats are descended from the Tembe-Thonga tribe, and have adopted Zulu nationality. The majority of them practise subsistence agriculture on the Makatini Flats, and come down to the floodplain to fish. Almost all their protein is derived from this fish, and they thus rely on the annual floods to maintain the pans in optimal condition for the growth of the fish. For a further description of these people see section 8.6.

Management: The completion of the Pongolopoort dam, higher up the river, in the Lebombo Mountains, has increased the agricultural potential of the area. However, manipulation of the water supply for irrigation programs could well have a deleterious effect on the floodplain. Pans may well dry out, or at least become so saline as to preclude survival of the life forms found there now. At the present time experimental releases of water from the dam are being carefully monitored, with a view to developing a sound policy of flood control.

8.8 LAKE SIBAYA

by J.S. MEPHAM

Lake Sibaya lies on the Maputaland Plain of northeastern South Africa as described in section 8.6. It is a fairly deep endorheic lake cut off from the Indian Ocean by high, forested sand dunes. It is poor in nutrients and consequently has low productivity. A comprehensive account is given by Allanson (1979).

1. Geography and morphology (Figs. 8.15 and 8.20)

Location: 27°25'S; 32°40'E.

Altitude: The surface of the lake is about 21 m asl, and at the deepest part the floor is about 20 m below sea level.

Area: Area of lake: 65 km²
 Area of drainage basin: 530 km² approximately.

Landscapes: The eastern shores consist of high, densely forested dunes and in places the lake approaches to within 1 km of the sea. The other shores are predominantly covered by low thornveld.

Morphometry: The main basin of the lake is 8.5 km long and 6 km wide and occupies almost 60% of the total area of the system. It has the deepest water and opens into two smaller basins in the south, a large dendritic arm to the west and another one to the north. The SE basin is virtually separated from the rest by the formation of two major sand spits. The western arm of the lake occupies a narrow valley and deepens progressively from 5 m at the western end to 25 m where it joins the main basin. The valley continues for 2 km across the main basin before it enters a deep wide trough running NW to SE. Similarly the northern arm lies in a valley and is 28 m deep where it

enters the main basin. The southwestern bay has a similar profile, although it is much shorter than the western and northern arms. The southern end of the main basin is shallow, but has a maximum depth of 20 m. For further details see the table below.

Lake Sibaya: Morphometry at low (1964) and high (1977) lake levels. Datum is 16.85 m above G.M.S.L. (from Hill 1979).

	1964	1977
Surface level above datum (m)	1.7	4.6
Maximum length (km)	17.5	18.7
Maximum breadth (km)	16.3	18.3
Mean width (km)	3.3	4.1
Maximum depth (m)	40.0	43.0
Mean depth (m)	13.1	12.6
Area (km ²)	59.4	77.5
Shore length (km)	128.7	126.9
Shore development	4.7	4.1
Volume (10 ⁶ m ³)	776	981
Volume development	0.98	0.88
Circularity ratio	0.26	0.27

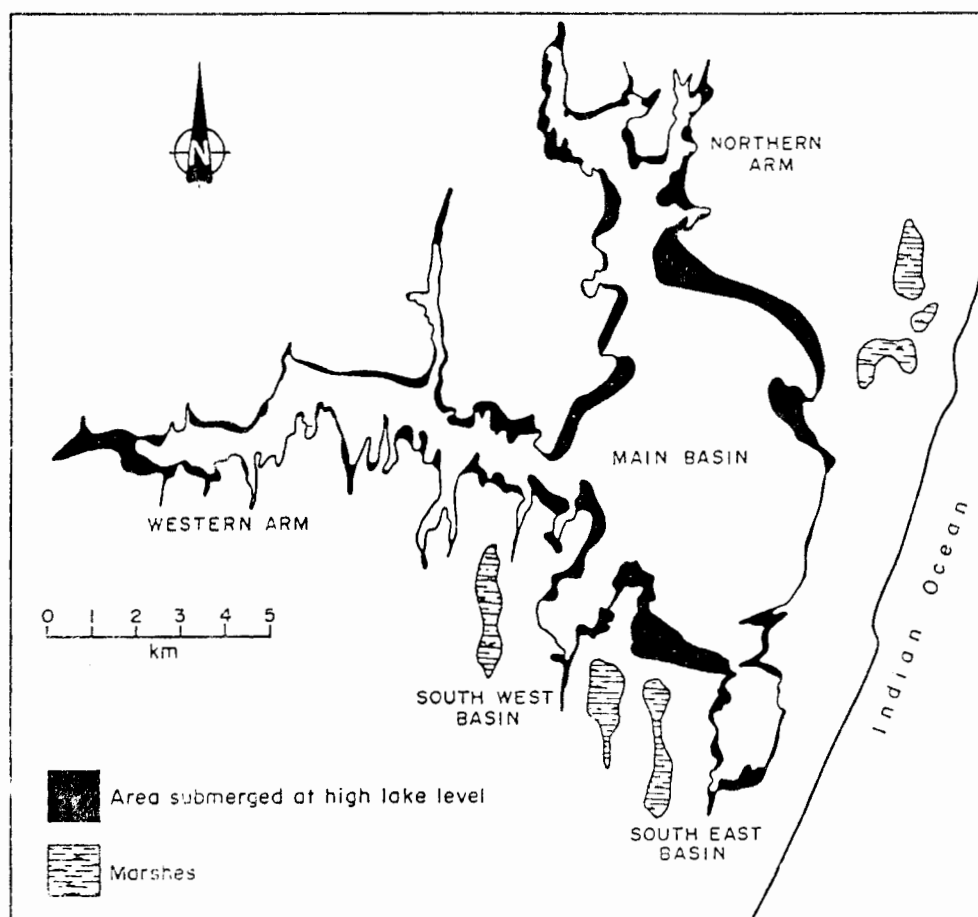


Fig. 8.20 Map of Lake Sibaya showing high and low lake levels

2. Geology

Lake Sibaya is situated on the Recent and Tertiary sands as described in section 8.6. The shores are sandy with only one small outcrop of lateritic ironstone on the northeastern shore.

3. Climate

This area has hot wet summers from September to March, and warm wet winters from April to August.

Type Code: BSfa (Köppen)

Insolation:

mean solar radiation:	April to August	10 730 kJ.m ² .d ⁻¹
	September to March	28 330 kJ.m ² .d ⁻¹

Wind:

strength	16-30.6 km.h ⁻¹ , greater during cyclones
seasonality	windiest time, November to January
prevailing direction	mainly from N and S in response to cyclonic and anticyclonic activity.

Rainfall:

on lake, annual mean	1030 mm.y ⁻¹
catchment area, annual mean	900 mm.y ⁻¹
months of highest	January to March

Evaporation from lake surface:

annual, mean	1420 mm.y ⁻¹
winter, mean, monthly	50 mm.month ⁻¹
summer, mean, monthly	175 mm.month ⁻¹

Air Temperature:

hottest month, February	mean 25°C
coolest month, July	mean 18°C

Cloud cover:

In summer there is more than 50% cloud cover nearly every day.
In winter there is more than 50% cloud cover on 6 days per month.

4. Hydrography and hydrology

Lake Sibaya is an endorheic system, and the water level reflects climatic variations. Oscillations of over 4 m have been shown to occur over a period of a few years. Groundwater inflow has been estimated at $21 \times 10^6 \text{ m}^3.\text{y}^{-1}$ and seepage from the lake into the sea has been estimated at $1-4 \times 10^6 \text{ m}^3.\text{y}^{-1}$ (Hill 1980).

5. Physico-chemical characteristics of the water

The lake shows substantial current movements because of the stresses set up by the strong northerly and southerly winds. Wind stress and

surface heating ensures that effective mixing occurs at all levels and this means that in the hot season the lake is not thermally stratified into a distinct epilimnion and hypolimnion. This lack of hypolimnion may account in part for the low production of the pelagic zone.

Temperature:

	Minimum	Maximum
overall mean	18°C July	27°C January
shallows mean	13°C	41°C

Transparency: (Secchi disc)

2.7 m	3.4 m
-------	-------

	Mean	
pH	8.2-8.3 all year	
Conductivity	584-598 $\cdot 10^{-6} \text{S.cm}^{-1}$ at 20°C	
	(winter 1967)	
Na ⁺	86.1 mg.l ⁻¹	
K ⁺	7.3 mg.l ⁻¹	
Ca ²⁺	27.5 mg.l ⁻¹	
Mg ²⁺	9.0 mg.l ⁻¹	
HCO ₃ ⁻	135.8 mg.l ⁻¹	(higher in summer)
Cl ⁻	131.3 mg.l ⁻¹	(poss. due to sea spray)
Oxygen at surface	7.6 mg.l ⁻¹	(January 1967)
Oxygen at 15 m	8.1 mg.l ⁻¹	"
Oxygen at 30 m	6.9 mg.l ⁻¹	"

6. Macrophytes

Long term variations in the water levels of Lake Sibaya are reflected by changes in the vegetation. During low water periods, such as were experienced in 1964, the predominant emergent plants on the exposed shores tend to be Scirpus litoralis and Phragmites mauritianus. In sheltered areas Typha latifolia, Cyperus papyrus and the grasses Sporobolus virginicus and Dactyloctenium geminatum are abundant. Submerged macrophytes ring the entire lake in a narrow band from 1-7 m wide, with Potamogeton spp. predominating in exposed areas and Myriophyllum spicatum and Ceratophyllum demersum in the sheltered shallows.

During high water periods the tall emergents Typha and Phragmites almost entirely disappear and the shoreline becomes ringed with Cyperus natalensis, which is frequently associated with the grasses Hemarthria altissima and Ischaemum arcuatum. Juncus kraussii and Panicum meyerianum are found on wave washed terraces in very shallow water. Eleocharis sp. and Scirpus litoralis are found mainly in the north and west arms.

The floating species Nymphaea capensis and N. caerulea create dense beds in the N and W arms, while in the bays of the SE and SW basins the shallow water is dominated by floating Leersia hexandra.

The submerged macrophytes Potamogeton schweinfurthii, Potamogeton pectinatus and Myriophyllum spicatum are found in depths of 2-5 m. In the SW and SE basins Utricularia inflexa and Najas pectinata occur in the deeper water, whereas Ceratophyllum demersum occurs from 3-5 m in the N and W arms.

Table 8.1 Mean biomass of major macrophytes in Lake Sibaya ($\text{g.m}^{-2} \pm$ standard error)

	Main Basin ($\text{g.m}^{-2} \pm \text{SE}$)		S.E. Basin ($\text{g.m}^{-2} \pm \text{SE}$)		S.W. Basin ($\text{g.m}^{-2} \pm \text{SE}$)		North Arm ($\text{g.m}^{-2} \pm \text{SE}$)		West Arm ($\text{g.m}^{-2} \pm \text{SE}$)	
<u>Ceratophyllum demersum</u> (submerged)	6	2.5	228	220.0	8	—	196	190.0	829	449.0
<u>Myriophyllum spicatum</u> (submerged)	48	29.6	47	20.5	30	17.7	13	18.9	11	4.6
<u>Potamogeton schweinfurthii</u> (submerged)	22	12.4	59	25.3	44	23.6	22	11.1	26	10.0
<u>Cyperus natalensis</u> (emergent)	193	54.5	144	—	197	124.4	252	71.1	217	30.1
<u>Leersia hexandra</u> (emergent)	1	—	16	—	11	10.3	151	85.4	15	8.0
<u>Ischaemum arcuatum</u> (floodplain grass)	258	25.4	—	—	25	10.7	112	1.0	121	45.8
<u>Panicum repens</u> (floodplain grass)	—	—	—	—	—	—	528	—	38	22.5

(Adapted from Howard-Williams 1979)

Productivity: Primary production in the lake is low and approximates $1847 \text{ mg C.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$ in the pelagic zone and $1630 \text{ mg C.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$ in the epipsammic diatom community of the terrace sands in summer (Allanson 1979). The emergents make up 25% of the total macrophyte biomass of Lake Sibaya. The most important individual species in terms of biomass are summarised in Table 8.1. There is no appreciable trapping of organic debris by the macrophytes, because of the strong currents in the lake. Neither do the macrophytes supply much in the way of nutrients to the lake nor food for the most abundant fishes. However they may be important as nursery areas for young fish. Howard-Williams (1979) considers that macrophytes play an insignificant rôle in the ecology of the lake.

7. Phytoplankton

The algal community comprises Closterium spp. Synedra acus, Anabaenopsis sp., Melosira granulata and Anabaena sp. in order of importance. Hart and Hart (1977) consider that nanoplankton plays an important rôle in the operation of the community. For individuals less than $20 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ diameter they estimate a count of 4 190 to 16 760 $\text{mm}^3.\text{m}^{-3}$, which is greatly in excess of the total volume of the principal net phytoplankton. It has also been shown that bacteria are important in the community.

8. Invertebrates

Both standing stocks and levels of production are low in this system.

Zooplankton: The major species are entomostracan Crustacea; copepods and cladocerans. Rotifers occur, but apparently contribute little to the overall biomass of the zooplankton. Hydracarina (water mites) and zoeae larvae of the benthic brown crab Hymenosoma orbiculare are among the largest forms, and occur in moderate densities. Seasonally, insect larvae and larvae of the pelagic fish Gillchristella aestuarius contribute to the zooplankton community (Hart 1980).

Hart and Allanson (1975) estimate that secondary production by the dominant copepod Pseudodiaptomus hessei is $28 \text{ mg dry mass.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$ throughout the year, which gives a result of about 0.5 tonnes dry matter per day, over the whole lake.

Zoobenthos: A variety of benthic organisms are found, principally members of the Crustacea and Mollusca. The crustacean component is dominated by small burrowing, and tube dwelling amphipods and tanaids, normally restricted to estuarine conditions. The marine crab Hymenosoma orbiculare and a fresh water shrimp Caridina nilotica are both found here. The molluscs are typical freshwater forms and include the intermediate snail hosts for human bilharzia. Other invertebrates include coelenterates, nematodes, a marine polychaete worm and many insect larval forms. The littoral benthos is particularly diverse with the aquatic larval stages of aerial insects such as chironomids, mayflies, caddis flies, dragon flies and damselflies, together with the larvae of water boatmen and water bugs.

Several aquatic molluscs are found in association with marginal vegetation. The fresh water crab Potoman sidneyi and the shrimp Caridina nilotica dominate the littoral fauna in terms of biomass (Hart 1980).

9. Fish

In Lake Sibaya some of the fish present reflect the marine origin of the lake, e.g. Gilchristella aestuarius, while others indicate its tropical affinities. A total of eighteen species are found in the lake including four cichlids (Pseudocrenilabrus philander, Oreochromis (= Sarotherodon mossambicus, Tilapia rendalli swierstrae, and Tilapia sparrmanii); and three gobiids (Croilia mossambica, Glossogobius giuris, and Silhouettea sibayi). The most abundant and successful fish are those with wide habitat and food preferences, which make use of the occasionally rich, but variable littoral zone. The extensive deep offshore and open water zones of Lake Sibaya are comparatively lifeless compared with the littoral fringe. Fluctuations in lake level have a marked effect on the species composition of the fish fauna, with only Oreochromis (= Sarotherodon) mossambicus common on the littoral terraces at times of low level, but with all species abundant when lake levels are high (Bruton 1980). Oreochromis tends to feed solely on detritus so that the adults of these fish tend to be small and in poor condition, which Bowen (1976, 1978) attributes to the poor quality, rather than the quantity, of the food available. As a consequence of this the lake has negligible fisheries potential.

10. Other vertebrates

Amphibia: Twenty-two species of frogs have been recorded from Lake Sibaya, of which twenty are tropical forms near the southern limit of their distribution. They include two species of Xenopus, two Bufo, two Rana, three Ptychadena, two Kassina, two Afrilaxus, five Hyperolius, one Chiromantis, one Phrynobatrachus, one Pyxicephalus and one Leptopelis. They are all associated with densely vegetated swamps and bays and only Xenopus ventures far from the shore. They feed on littoral invertebrates and themselves fall prey to at least four species of fish, 15 species of reptiles and at least 37 species of birds.

Reptiles: Eight species of reptiles are associated with the lake itself, although another 59 have been recorded in the adjacent dune forest, grassland and savanna (Bruton and Haacke 1980). Among the snakes, the African python (Python sebae) is found around the lake and has been caught in fish traps laid at a depth of 2 m. Their prey include fishes as well as small mammals. The green water snakes Philothamnus hoplogaster and Philothamnus irregularis are common here, and forest cobras, Naja melanoleuca reaching up to 2.3 m in length are found along shores fringed with trees.

Water monitors, Varanus niloticus are the most commonly observed reptiles. In 1980 it was estimated that there were about 60 crocodiles (Crocodylus niloticus) over 1 m long in the lake (Bruton 1980).

Birds: Cyrus et al. (1980) recorded 279 bird species in the area and Bruton (1979) maintains that 62 of these are closely associated with the lake in one or more ways. From 1970 to 1976 the most numerous species were white breasted cormorants and reed cormorants, which consume gobies and small cichlids. Other fish eaters include pied, giant and malachite kingfishers, fish eagles, various large herons, darters and grey headed gulls. African jacanas, black crakes, purple gallinules, moorhens and little bitterns are found in the sheltered bays. Sandy beaches are inhabited by white fronted sand plovers which breed at Lake Sibaya. The commonest waders include black winged stilts, avocets, greenshanks, and the purple, great white and goliath herons (Bruton 1980).

Mammals: Only six mammal species are consistently associated with Lake Sibaya: Ichneumia albicauda (white tailed mongoose), Atilax paludinosus (water mongoose), Hippopotamus amphibius, Redunca arundinum (reedbuck), Otomys irroratus (vlei otomys) and Dasymys incompus (African marsh rat). In 1973 Bruton estimated that there were 95 hippopotamuses in the area, which probably play an important rôle in the transfer of nutrients from land to water and in the stirring up of sediments by their trampling.

11. Human activities and management

This is largely dealt with in section 8.6. The lake supplies fish to the local inhabitants throughout the year, but most fish are taken in the summer, when large numbers of breeding Oreochromis mossambicus and Clarias gariepinus are speared and netted.

8.9 THE SAINT LUCIA LAKE SYSTEM

by J.S. MEPHAM

The St Lucia System lies on the Maputaland Plain on the north eastern coast of South Africa. It consists of an estuarine lake system which drains via a narrow outlet, 'The Narrows', to the Indian Ocean. The system is subject to extreme climatic variations, and as a result the lake experiences dramatic changes in salinity, in some parts from 0-120‰. This propensity for internal change makes it difficult to derive meaningful generalisations about the system, and even its status oscillates between lake, lagoon and estuary.

1. Geography and morphology

Location: The St Lucia Lake System (Fig.s 8.15 and 8.21) is situated on the Maputaland coastal plain with the Lebombo Mountains lying to the NW and the Indian Ocean to the east, between 27°52'-28°24'S: and 32°21'-32°34'E. This excludes the extensive Mkuzi Swamps, which lie to the north of, and drain into the lake. Although these swamps are an integral part of the St. Lucia System virtually no research has been carried out on them.

Altitude: The system is at sea level with the floor of the lake between 1.0 and 2.5 m below sea level. Water levels in the lake have varied from 0.6 m below sea level to 1.06 m asl (1951-1956), and in 1984, after Cyclone Demoina, rose to 3 m asl

Area: This varies with the seasons; in a wet year the system may expand to 417 km², but in a dry year it may be reduced to as little as 225 km². The average size is approximately 350 km².

Landscapes: The St Lucia System is situated on the coastal plain as described in section 8.6.

Morphometry: The system describes an H-shape, with the long axis lying parallel to the coast in a N-S direction.

Axial Length: 61-66 km, comprising a 21 km long channel, The Narrows, and a 40-45 km long lake to the north of it. The length of the shoreline varies between 300 and 400 km reflecting seasonal variations in the size of the lake.

Maximum Width: This is 22 km, but the average width of the lakes is 3-8 km, and The Narrows varies between 100 and 400 m across. The mouth of the estuary is generally less than 100 m wide.

Volume: Estimates vary between 295 and 322 x 10⁶ m³ (Hutchison 1976; Blok 1976)

Mean Depth: Less than one metre in the lake but up to 3 m in The Narrows, during normal conditions. However after Cyclone Demoina, in 1984, the level at the mouth rose to 16 m.

Tidal Range: Tidal influence occurs only within The Narrows, and true tidal mixing is found only south of the bridge, close to the mouth. One kilometre from the sea a tidal range of 1.5 m may be experienced at spring tide.

Habitats: A variety of habitats are found in the St Lucia System including islands, mudflats, aquatic vegetation, reed swamps, open grasslands, fresh water swamp forest, tidal swamp forest, coastal dunes, riverine communities, freshwater pans and beaches.

2. Geology

The St Lucia System is situated on the Maputaland coastal plain. For a fuller account of this region see section 8.6. The western side of the lake comprises a Pleistocene barrier dune complex while to the east the land is at first marshy but is finally separated from the sea by sand dunes which reach 188 m asl. The entire system, excluding False Bay in the west, is underlain by sand and gravel, while False Bay and the two peninsulas (see Fig. 8.21) are composed of Cretaceous sandstones, shales and limestones. Bedrock depths range from 8 m in Catalina Bay to 32 m in Hell's Gates (Van Heerden 1976).

Substrates: Soft muds extend to depths of 10-30 m below the floor of the system and it has been estimated that there are 3 115 x

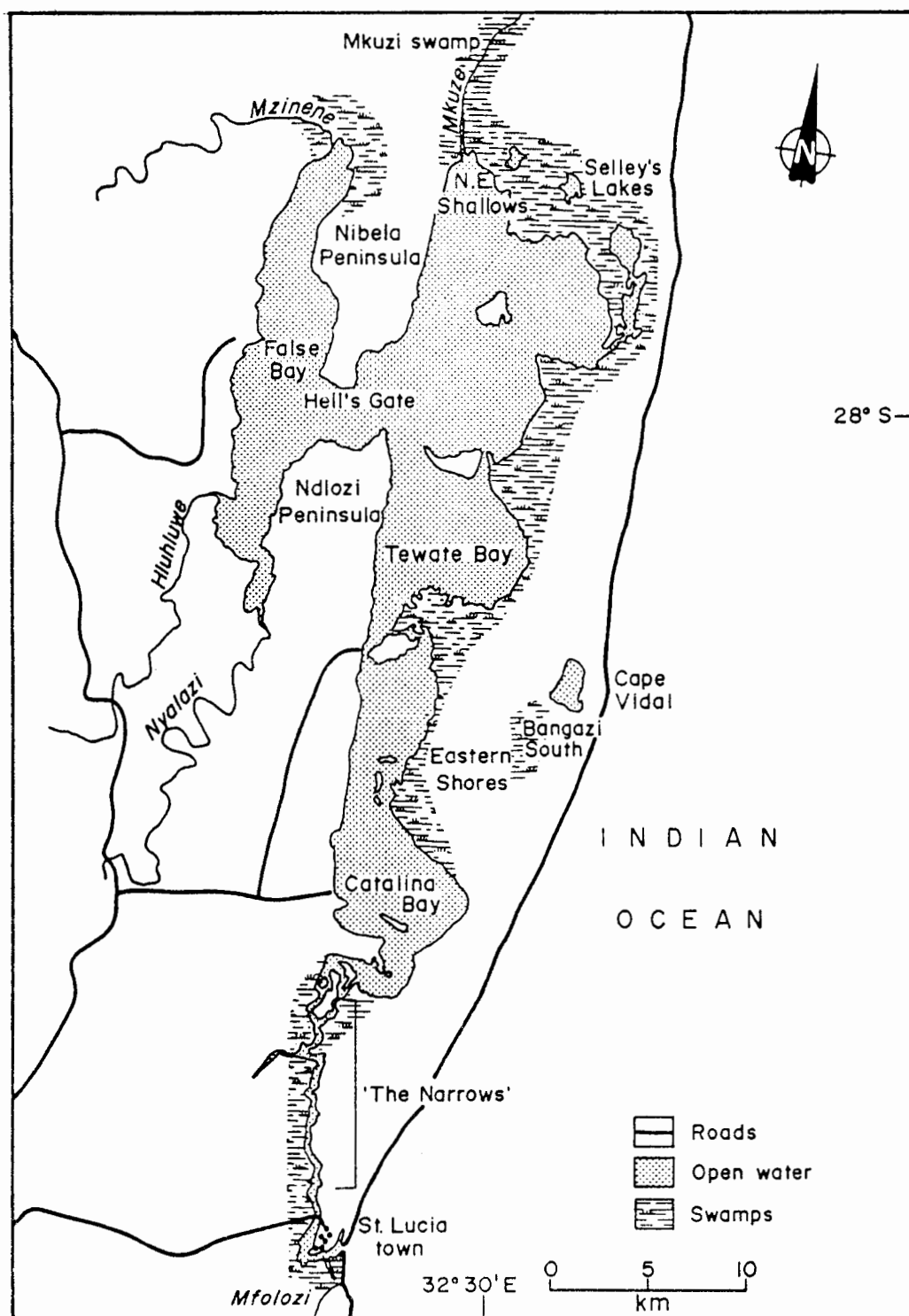


Fig. 8.21 Map of the St Lucia Lake System

10^6 m^3 of mud. Most reports attribute these sediments to fluvial origin but Cholnoky (1968) maintains that they are of marine origin. Probably some proportion of them has been derived from marine sedimentation when patterns of tidal activity were different in the past, but the bulk would appear to be river borne.

The Sandbar: Since the sixteenth century the mouth of the estuary has become closed periodically by the formation of sandbars. Sandspits develop in a N-S direction, and closure of the mouth may occur as a result of strong drifting at times when discharge from the lake is minimal, or occasionally as a consequence of cyclonic storms. The estuary was last closed in 1956 after artificial drainage of the Mfolozi swamps to the south, caused massive incursions of silt to the system. The mouth is now kept open by dredging operations.

Siltation: Current annual silt accumulation has been estimated at $0.98\text{--}2.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ per year, which is thought to be two to three times greater than the mean rate over the last 5000 years, and to be due to the accelerating rate of erosion in the hinterland. However, it is clearly subject to large scale variations. Cyclonic storms, such as occurred in 1984, may cause the deposition of more silt in a few days than would normally occur in a decade. These violent storms are known to occur several times a century.

3. Climate

There is a seasonal pattern of hot wet summers, from October to April, and warm dry winters, from May to September (see Fig. 8.2 Cape St. Lucia).

Type Code: BSw_{5a} (Köppen)

Air Temperature:

annual mean	21.3°C
hottest month: February, mean min. and max.	19.2; 30.3°C
coolest month: July, mean min. and max.	10.3; 23.5°C

Wind:

strength	5–25 km.h ⁻¹ , gusting to 166 km.h ⁻¹
seasonality	low in winter, higher in summer
prevailing directions	from NE and SW, parallel to the long axis of the lake.

Rainfall:

annual total	mean	890 mm
range	from mouth to NW	1200–625 mm.y ⁻¹
month of highest	March, mean	131 mm
month of lowest	August, mean	32 mm
year of highest	1925	2057 mm
year of lowest	1926	530 mm
distribution	approximately equivalent on lake and in the drainage basin.	

Evaporation:

estimated mean total from whole catchment $397 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{y}^{-1}$
 estimated mean total from whole lake surface $1\,380 \text{ m}^3 \cdot \text{y}^{-1}$

4. Hydrography and hydrology

The St Lucia System is fed by a number of rivers. The Nyalazi, Hluhluwe, and Mzinene Rivers enter False Bay, and the Mkuze River, which drains the Mkuze Swamps to the north, enters the northern part of the easterly arm. There is an appreciable but seasonal influx of ground water on most shores. The whole system drains south through The Narrows to the Indian Ocean.

Water is lost mainly by evaporation, but some is lost, especially at times of flood, through the estuary to the sea. Reduced fresh water influxes are compensated for by entry of sea water, which averages $70 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{y}^{-1}$. The lake tends to experience alternating periods of very low and very high salinity in response to alternating weather patterns of drought and flood. Changes in water level are less dramatic, and probably less important to the system, than are changes in salinity.

Depending on lake level, sea water has been known to flood into the estuary at a rate of $7 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$. Current patterns within the lake have not been established. Seiches of 0.3 to 0.43 metres are experienced, which are caused by wind.

Water Balance for the St Lucia System (estimated averages):

input	$10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{y}^{-1}$	output	$10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{y}^{-1}$
river inflow	300	net outflow to sea	170
direct rainfall	270	evaporation	400
total input	570	total output	570

In the past, south of St Lucia, the Mfolozi River flowed into the St Lucia estuary, but when the Mfolozi Swamps were drained for sugar cane production, so much sediment was deposited in the estuary that in 1952 a new mouth was created for the Mfolozi River separate from the St. Lucia system. The present policy is to maintain separate mouths, but a 'Link Canal' has been constructed from the Mfolozi River to the First Narrows, so that water may be channelled from the Mfolozi into Lake St Lucia during times of hyper-salinity.

5. Physico-chemical characteristics of the water

	Minimum	Maximum
Temperature: (°C)	17 (June/July)	29 (Dec/Jan)
Transparency: (m)	0.076-0.5 (summer)	0.15-1.37 (winter)
Conductivity: (10 ⁻⁶ S.cm ⁻¹)	1000 (mean)	
Salinity: ‰	0	120
Nitrogen: (10 ⁻⁶ .g l ⁻¹)	54	200
Phosphorus: (10 ⁻⁶ .g l ⁻¹) (as orthophosphate)	9	14

Principal Ions: The following cations are found, in descending order of concentration levels: Na, Mg, Ca, K. The concentration of Cl is higher than both SO₄ and Na.

Salinity: When the mouth is open, the estuary maintains a constant, fairly low salinity due to the effect of the incoming sea water, but a 'wedge' of seawater may penetrate a considerable way up The Narrows. Extreme levels of salinity due to evaporation are experienced in the northern most parts of the lake. Here they may vary from 0-120‰, the highest levels having been recorded at Hell's Gates, Selley's Lakes and the Mkuze mouth, during times of drought. The lakes in the south of the system never become as saline as those in the north and during such times they act as a refuge for living organisms, which are then redistributed when the unfavourable conditions have passed.

6. Macrophytes

Submerged macrophytes: Extensive beds of Potamogeton pectinatus are found in the northern regions of the system. These are replaced by Ruppia spiralis further south and by Zostera capensis nearer the sea. Enteromorpha spp. are the most conspicuous of the filamentous algae. They grow in the shallows when the lake is receding, or epiphytically on the upper surfaces of submerged vegetation.

Floating Macrophytes: Eichhornia sp. has been reported (Begg 1978), but it is not considered important or out of control.

Emergent macrophytes: Much of the lake shoreline is bordered by beds of the reed Phragmites australis, with the greatest area occurring in the Mkuzi Swamp, which unfortunately has not been well studied. These swamps trap silt and floating debris thereby adding large quantities of decaying organic matter to the system and providing spongy, fresh water reserves. They flourish best during periods of low salinity and regress during periods of high salinity. The Mkuzi Swamps are protected by a natural bar which prevents the incursion of saline water. Elsewhere in low-lying badly drained areas, there are marshes dominated by various sedges, principally Scirpus spp., together with Juncus maritimus, and grasses such as Sporobolus virginicus and Paspalum sp.

Swamp forests: Mixed fresh water associations comprising Barringtonia racemosa, Ficus tricopoda, Garcinia livingstonei,

Phoenix reclinata, Syzygium cordatum, Syzygium guineense and Voacanga thouarsii are found on the Eastern Shores of the lake. In The Narrows, where hypersalinity is not experienced, there is a small area of tidal forest dominated by young Avicennia marina with a few trees of Bruguiera gymnorhiza. Dredging operations, and in particular the dumping of dredge spill at the waterside, have greatly reduced the area covered by mangroves in recent years.

7. Phytoplankton

Most of the phytoplankton volume comprises autochthonous species of marine origin. There is a decrease in variety towards the most changeable northern areas (Johnson 1976). At times of concurrent high salinity, high temperatures and calm weather, outbreaks of 'red water' caused by the alga Noctiluca scintillans have occurred.

8. Invertebrates

129 species of invertebrates have been recorded from the St. Lucia System (Day 1954; and Millard 1954).

Zooplankton: Grindley (1976) has demonstrated that the majority of zooplankton found are typically estuarine species, many of which have a high salinity tolerance although few can survive above 80‰. Those showing high salinity tolerance include Pseudodiaptomus charteri, Acartia natalensis, Halicyclops sp., Mesopodopsis africana and Grandidierella bonieri.

Benthic fauna: A comprehensive study of benthos is given by Bolt (1975) and Blaber *et al.* (1983). The most abundant benthic species is a small gastropod Assiminea sp., which is eaten by a variety of animals. Most benthic organisms in the system can tolerate salinities of up to 55‰ and when this has been exceeded recolonisation is effected by planktonic larvae brought into the lake by wind induced water movements.

Insects: There has been little work on the insects of this area, but chironomids are common, and these provide an important food item for fish, young crocodiles and birds.

Prawns: The St Lucia System is important as a nursery for penaeid prawns and according to Champion (1976) is the largest reserve in the Republic of South Africa. The dominant species is Penaeus indicus, although during periods of low salinity Forbes (in a personal communication to Begg 1978) found that Macrobrachium equidens became dominant. The prawns are eaten by fish such as kob (Argyrosomus sp.), springer (Elops sp.), and kingfish (Caranx sp.) and they also support a bait fishery.

9. Fish

Eighty-two species of fish have been recorded from the St Lucia System since 1964 (Day 1954; Van der Elst 1976; and Whitfield 1977).

The shallow marginal areas act as nurseries for young larval fish and many adult fish come into the estuary to feed. The most commonly caught species include Pomadasys commersonni (spotted grunter), Argyrosomus hololepidotus (kob), Acanthopagrus berda (perch), Rhabdosargus sarba (stumpnose) and Mugil cephalus (mullet). Various species of shark are common in the vicinity of the mouth of the estuary. Carcharinus leucas (Zambezi shark) and Pristis pectinatus (sawfish) penetrate the whole system. Gravid females of Carcharinus leucas frequently give birth to their young in the system (Bass 1976).

The high salinity phase of the lake in 1970-71 did not appear to affect the biology of the mullet or springer Elops machnata adversely. Tilapia, Oreochromis (= Sarotherodon) mosambicus were found to breed in hypersaline water of 116‰. Many of the fish show wide salinity tolerances. Ten species have upper tolerance limits of 65-70‰, and 32 species have lower tolerance limits of 1-3‰ (Whitfield 1977).

10. Other vertebrates

Reptiles: It has been estimated from an aerial census that St Lucia has a population of approximately 500 crocodiles (Crocodylus niloticus). Crocodile breeding places are protected, and crocodiles show marked movement patterns from summer breeding places to winter basking grounds. Many are found in the Mkuzi swamp.

Birds: There are about 340 species of birds associated with the St Lucia System. Ninety of these predominate on islands, mudflats and in reedswamps. Migrant waders are common in summer, with pelicans and Caspian terns more common in winter. The system is renowned for its pelicans and flamingoes. St Lucia is a recognised breeding ground for about twenty aquatic bird species such as open-billed stork, wood stork and pink backed pelican, and it is the only breeding place in South Africa for the white pelican. During high salinity phases most of the birds migrate away from St. Lucia and cease breeding (Whitfield 1977).

Mammals: Aerial counts of Hippopotamus have shown that the number has increased over the last twenty years to about 600 (Taylor 1976). They are found mainly along the eastern shores where they are said to play an important rôle in carving channels through the swamps, modifying the drainage lines and releasing large quantities of plant detritus into the lake in their faeces. The Eastern Shores are recognised as a game reserve in which antelopes such as reedbuck, nyala, impala and suni are common. Buffaloes and black rhinoceroses have been introduced recently.

11. Human activities and management

This is largely dealt with in section 8.6.

Exploitation: The St. Lucia area has been exploited for tourism under the auspices of the Natal Parks Board, which has designated special areas for recreation, accommodation and conservation.

The St. Lucia Game Reserve occupies an area of 36 826 hectares. It comprises the water area and islands of Lake St. Lucia and a strip of land approximately 0.8 km wide around most of the shoreline. The northeastern sector is set aside as a wilderness area, but the remainder is available for boating and recreational activities. A substantial segment of the lake area has restricted access due to military control and the use of the area for missile testing purposes.

St. Lucia Park, an area of 12 545 hectares, has some camping facilities, but a portion of the park is maintained as a conservation area.

False Bay Park on Lake St. Lucia, has an area of 2 247 hectares which is set aside for recreation, has camping facilities and provides angling, boating and game viewing.

Note on the Mkuzi Swamp

The Mkuzi Swamp is an integral part of the St. Lucia System, but it seems that very little research has been carried out in that area. It is a northern extension of St. Lucia Lake which has become shallow enough to support rooted and floating vegetation including stands of papyrus species. A natural bar at the southern end of the swamp inhibits the intrusion of saline water. There are four stretches of open water in the swamp: Ndlaka, Demezane, Mbazwan and Butterfly. Where the river enters the swamp there is a delta which contains four open lakes: Mpempe, Ntshangwe, Mdlanzi and Tshanetsha, forming an ecosystem hydrologically separated from the main Mkuzi swamp by two dry, narrow and steep sections at the toe of the delta.

A channel was once excavated from the Mkuze River near Mpempe Pan to a point near Demezane Pan in an attempt to introduce more fresh water to Lake St. Lucia. This channel has now closed and no attempts are planned to re-open it as the probable deleterious effect on the Mkuze swamps would seem to outweigh any advantage that might be gained by reducing the salinity of the northern end of Lake St. Lucia (Alexander 1976).

8.10 THE WILDERNESS LAKES

by J.S. MEPHAM

The Wilderness Lakes comprise a number of small estuarine lakes and lagoons located on the southern coast of Cape Province in the Republic of South Africa. They lie parallel to the coast between the Outeniqua Mountains to the north and coastal sand hills to the south. The lakes are fed by a number of rivers, most of which periodically breach the dunes to drain into the Indian Ocean. These old consolidated dunes protect the system from the prevailing southerly on-shore winds.

The systems dealt with here are:

- 8.9.a. The Touw River Floodplain (including Rondevlei, Langvlei, Eilandvlei and the Wilderness Lagoon),
- 8.9.b. Swartvlei,
- 8.9.c. Groenvlei.

Some authors use the term 'Wilderness Lakes' to refer only to those water bodies situated on the Touw River Floodplain, while others include Swartvlei and Groenvlei as part of the Wilderness Lakes System. In this account I shall use the term Touw River Floodplain for all those areas included in section 8.10.a.

The term 'vlei' is used in South Africa to indicate a range of wetland situations showing more or less seasonal flooding, and which include coastal and estuarine lakes having extensive areas of reeds and sedges, and other shallow water bodies such as may occur inland on river floodplains, which are dominated by similar emergent hydrophytes.

1. Geology

The system has been derived from river valleys which were drowned after the last ice age, about 16 000 years ago, and were then subsequently partially infilled by Quaternary sands. In this area calcium carbonate has cemented sand ridges to form widespread aeolianite or dune rock. Inland from these Quaternary sands is a 200 m high coastal platform of Tertiary age, through which the rivers have cut deep valleys. The rivers originate in the Outeniqua Mountains, which comprise intensely folded Table Mountain sandstone.

2. Climate

It is mild and temperate, virtually frost free, with little variation in the mean temperature (see Fig.8.2 George).

Type: Cf (Köppen)

Air Temperature: mean daily max. range: 26°C summer, 19°C winter
mean daily min. range: 16°C summer, 6°C winter

Rainfall: Rain falls throughout the year and there is no discernible pattern. Monthly totals may vary from 10 to 160 mm with a mean annual total falling on Swartvlei Lake (1974-78) of 550 mm, and on the Outeniqua Mountains of 900-1000 mm.

Winds: SW winds predominate throughout the year, and in addition N and NE winds are common in the winter and SE winds in the summer. The chains of lakes, which lie in an E-W direction are afforded some measure of protection by the higher lying lands to the north and south. Data from the nearby town of George show that 80% of the winds are below 20 km.h⁻¹, and that 97% are below 30 km.h⁻¹. Very strong winds are rare in this area.

Cloud: skies are frequently overcast, with no great seasonal variation.

Solar Radiation: is low because of the predominantly cloudy conditions.

summer	2.25 KJ.m ⁻² .day ⁻¹
winter	0.75 KJ.m ⁻² .day ⁻¹

Evaporation: Class A pan: Mean annual evaporation from Swartvlei Lake is 1127 mm, which is equivalent to a total annual loss of between 9.92 and $12.13 \times 10^6 \text{ m}^3$ depending on the fluctuating area of the lake.

8.10.a THE TOUW RIVER FLOODPLAIN

A detailed account of this area is to be found in Allanson and Whitfield (1983).

1. Geography and morphology

The Touw River flows in a southerly direction from the Outeniqua Mountains widening into the Wilderness Lagoon just behind its mouth, which is usually closed by a sand bar. On the floodplain to the east, the lagoon is linked to a chain of three small lakes which are themselves fed by the Touw River, and to a lesser extent by the Duiwe River and the Langvlei Spruit (Fig. 8.22). The direction of water flow into or out of these lakes depends upon the prevailing conditions at any time. Most of the Touw River Floodplain lies below the 5 m asl contour.

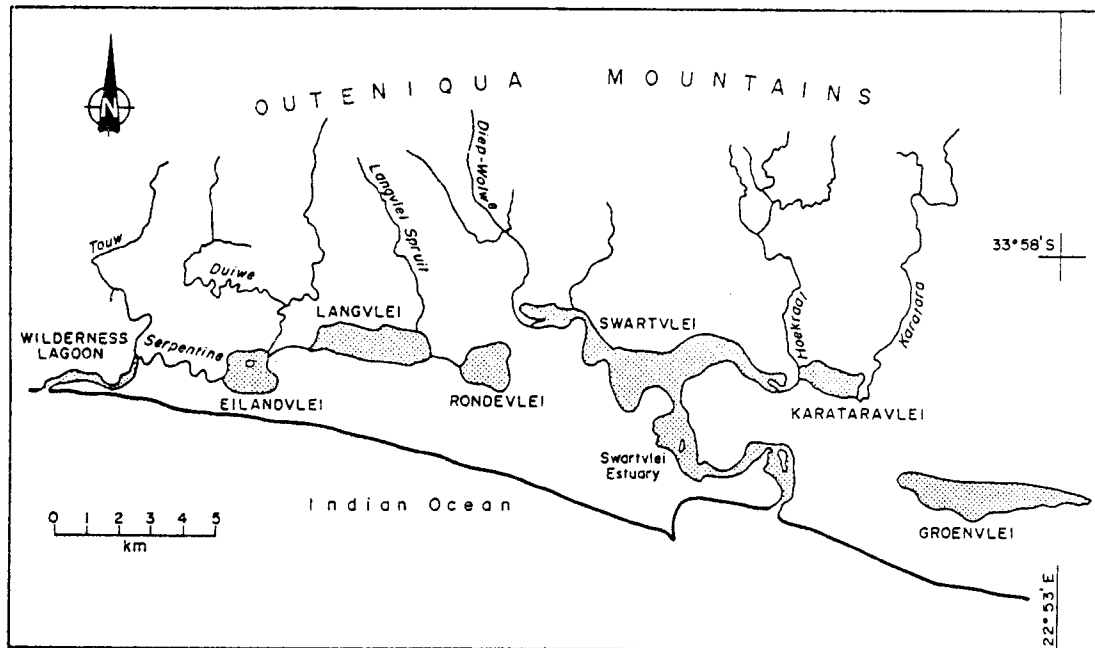


Fig. 8.22 Map of the Wilderness Area, showing lakes, lagoons and rivers.

Dimensions of Various Components of the Touw River Floodplain:

	Length m	Width m	Area ha	Depth m
Rondevlei			130	5
Channel		2-3		
Langvlei			216	4
Channel	900	200	15	
Eilandvlei			143	6.5
Serpentine	5600			2.75
Wilderness Lagoon	1300	180	18	
Total area			911	

Rondevlei is the easternmost lake and furthest from the sea and the Touw River. It is not fed directly by any streams and is thus usually the most saline of these lakes. At times it even becomes endorheic when the water level drops below that in the channel linking it to the next lake.

Langvlei is the largest of the lakes and is almost completely surrounded by reed beds. It is fed principally by two streams, the Langvlei Spruit and the Touw River, but also receives the overflow from Rondevlei via a short channel, which is now dredged and kept 2-3 m wide, between reed beds on either side.

Eilandvlei lies to the west of Langvlei to which it is connected by a channel almost permanently blocked by macrophytes. It is so called because of the presence of Drommedaris Island within it. The Duiwe River runs into the NE side of the lake, close to the entrance of the channel from Langvlei. When the mouth of Wilderness Lagoon is open, seawater may reach Eilandvlei via the Serpentine. This is the only lake in the system which sometimes shows meromictic conditions (Coetzee 1979).

The Serpentine is a meandering channel about 5.6 km long which passes through a swamp to connect Eilandvlei with the Touw River.

The Wilderness Lagoon lies behind the mouth of the river and periodically opens to the sea. When the mouth is open high tides may cause backing up of fresh water in the lakes and channels, and incursion of sea water into normally fresh water areas.

The straight line distance from Rondevlei to the estuary mouth is 13 km and the gradient through the system is only very slight. This means that when the mouth of the lagoon is closed, movement of the water through the system is slow and in the event of floods the flow may be reversed up the channels, with consequent inundation of the adjacent floodplain.

Location: The system lies between 33°59'–34°00'S and 22°35'–22°44'E.

<u>Catchment Area:</u>	Touw River	103 km ²
	Duiwe River	34 km ²
	Langvlei Spruit	9 km ²

Altitude: almost the entire area is less than 5 m asl

Other Features: Drommedaris Island has suffered only minor interference by man. It is about 270 m long, 90 m wide, 32 m high, has a surface area of 6.34 ha, and is surrounded by reed beds.

Soils: are derived from Pleistocene and Recent coastal sands, but most of the floodplain is covered with a dark alluvium, rich in organic matter. A few higher areas have a loose sandy soil which is low in humus content.

2. Hydrography and hydrology

No figures are available for evaporation, but estimated runoffs for the various catchments are given below.

Rainfall and runoff for the catchments of the Touw River Floodplain

	mean annual rainfall mm	mean annual runoff 10 ⁶ m ³
Touw River	915	22.6
Duiwe River	910	6.0
Langvlei Spruit	900	1.5
Approximate total	2725	30.0

Floods reaching more than 2.6 m asl result in flooding of residential properties along the shores of the Wilderness Lagoon. Using hydraulic models it has been estimated that the water can be kept below this level, provided that the sand sill at the mouth of the estuary is maintained at 2.1 to 2.4 m asl.

3. Physico-chemical characteristics

		Non-flood Conditions		Flood Conditions	
		mean	range	mean	range
<u>Temperature</u> °C	Wild. Lagoon	19.3	12.0-24.5	16.6	13.5-20
	Touw River	18.0	10.0-26.5	16.1	13.0-19
	Eilandvlei	19.4	12.5-25.5	18.3	15.0-22
	Langvlei	20.0	13.0-27.5	17.8	12.5-23
	Rondevlei	20.1	13.0-27.0	18.5	13.0-23
<u>Salinity</u> ‰	Wild. Lagoon	7.8	0-25	2.0	0-4
	Touw River	4.6	0-18	0.3	0-2
	Eilandvlei	6.2	4-10	3.2	2-4
	Langvlei	10.6	8-13	6.2	4-8
	Rondevlei	13.9	12-16	11.6	9-13
<u>Oxygen</u> mg.l ⁻¹	Wild. Lagoon	7.3	1.4-9.6	7.2	6.1-8.5
	Touw River	6.5	2.9-10.0	7.0	4.1-9.5
	Eilandvlei	7.5	0.3-11.7	7.1	4.3-8.9
	Langvlei	7.0	0.6-11.2	7.0	1.2-9.6
	Rondevlei	7.1	0.2-14.4	7.3	2.4-9.5
<u>pH</u>	Wild. Lagoon	8.0	7.2-9.0	6.9	6.1-7.3
	Touw River	7.2	5.2-8.6	6.1	5.1-7.0
	Eilandvlei	8.1	7.5-9.2	7.6	7.4-7.7
	Langvlei	8.1	7.2-9.2	8.1	7.8-8.3
	Rondevlei	8.7	8.3-9.7	8.6	8.6-8.7
<u>Turbidity</u> Secchi disc cm	Wild. Lagoon	135	100-170	55	50-60
	Touw River	clear	to bottom	65	60-70
	Eilandvlei	179	90-320	42	20-70
	Langvlei	142	50-250	92	50-160
	Rondevlei	62	30-140	52	40-70

4. Nutrients

<u>Soluble</u> <u>Reactive</u> <u>Phosphate</u> 10 ⁻⁶ g.l ⁻¹	Wild. Lagoon	0.8	0-2.2	3.5	0-8.7
	Touw River	0.6	0-1.8	2.6	0-6
	Eilandvlei	1.4	0-9.0	3.0	0-10
	Langvlei	3.6	1-18	2.7	1.6-5.1
	Rondevlei	4.1	1-20	0.8	0-2
<u>Total</u> <u>Phosphate</u> 10 ⁻⁶ g.l ⁻¹	Wild. Lagoon	7.8	1-17	28.3	3-39
	Touw River	8.0	1-16	17.2	3-45
	Eilandvlei	22.3	3-59	61.4	31-85
	Langvlei	36.2	5-66	42.0	25-48
	Rondevlei	65.4	10-117	63.7	50-73
<u>Nitrate</u> (NO ₃ N) 10 ⁻⁶ g.l ⁻¹	Wild. Lagoon	29.0	7-60	71.0	28-137
	Touw River	21.9	3-52	54.5	33-77
	Eilandvlei	8.3	0-39	94.4	36-174
	Langvlei	159.4	1-569	43.0	13-70
	Rondevlei	30.0	12-44	28.2	23-32

5. Phytoplankton

<u>Chloro-</u>	Wild. Lagoon	1.8	0.4-7	8.8	0.5-32
<u>phyll a</u>	Touw River	-	-	-	-
	Eilandvlei	8.2	1-19	29.3	6-59
10 ⁻⁶ g.l ⁻¹	Langvlei	11.0	0.4-36	46.5	13-146
	Rondevlei	13.1	3-37	20.2	6-52

6. Macrophytes

The most common emergent macrophyte in the shallowest water is Phragmites australis, which is found surrounding all the lakes and lining the channels. It frequently extends into a broad swamp and merges with the terrestrial grasslands and scrub. Scirpus litoralis and Typha latifolia are usually found with the Phragmites, and also extend into the deeper water. Typha latifolia is not found in the Wilderness Lagoon nor in the lower reaches of the Touw river, no doubt due to high salinities which occasionally occur when sea water penetrates this far. Where there has been interference in the wettest areas Juncus kraussii has taken over as the dominant vegetation. It is found in all the lakes and channels, but not around the relatively undisturbed Drommedaris Island.

The submerged macrophyte Potamogeton pectinatus occurs throughout the system, its density and distribution varying from season to season, and from year to year. In the lower parts of the system some Ruppia cirrhosa (syn. spiralis) is found, with the maximum production by this species occurring in Eilandvlei. This species is not found in the channels. In addition, dense beds of Characeae, mainly Chara globularis var. kraussii and Lamprothamnium, have occurred in Langvlei, although they have subsequently been shaded out by Dinoflagellate blooms.

Free-floating and floating-leaved aquatic plants are rare in this system, possibly because of the high salinity of the water. However Salvinia molesta has been recorded here, and it is possible that if the salinity of Eilandvlei continues to decline in response to reduced tidal inflow, then excessive growth of Salvinia may become a major problem.

Estimated above ground annual production of major aquatic plants in the Touw River System during 1978/79. (After Howard-Williams, 1980).

	t.y ⁻¹
<u>Typha latifolia</u>	182.8
<u>Phragmites australis</u>	1086.0
<u>Scirpus litoralis</u>	351.6
Characeae	46.6
<u>Ruppia cirrhosa</u> (syn. <u>spiralis</u>)	1.2
<u>Potamogeton pectinatus</u>	286.3
Total	1954.5

7. Invertebrates

Zooplankton: According to Coetzee (1983) the Zooplankton of the Touw River floodplain supports an estuarine fauna which, during 1976, was dominated by lamellibranch veliger larvae and copepods. The two most important copepod species were Arcartia natalensis and Pseudodiaptomus hessei. During periods of high rainfall freshwater organisms (e.g. Cladocera) are flushed into the system, whereas marine zooplankton enter when the estuary is open to the sea. The greatest variety of zooplankton occurs in areas closest to the estuary mouth, but the greatest numbers have been recorded from Eilandvlei.

Mean daytime numbers:	Eilandvlei	14 641 m ⁻³
	Rondevlei	13 108 m ⁻³
Mean daytime standing crop:	Langvlei	17 mg dry mass.m ⁻³
	Rondevlei	15 mg dry mass.m ⁻³
	Eilandvlei	6 mg dry mass.m ⁻³

Macro-invertebrates: The mean biomass of macro-invertebrates from the Touw River Floodplain between January 1979 and June 1980 (after Davies 1981):

Locality	Invertebrate Biomass in Sediments	(g dry mass m ⁻²) on <u>Potamogeton</u>
Wilderness Lagoon	19.2	-
Lower Touw River	13.0	128.9
Western Serpentine	4.3	91.0
Eastern Serpentine	4.6	35.7
Eilandvlei	5.9	54.8
Langvlei (inshore)	9.9	-
Langvlei (offshore)	14.7	-
Rondevlei (inshore)	19.5	-
Rondevlei (offshore)	23.5	-
Touw River System Mean	12.7	77.6

Most of the aquatic invertebrates in this system are true estuarine species and would tend to disappear if the system were to become entirely freshwater, as would happen if the mouth were not opened periodically. The dominant marine/estuarine species include the amphipods Corophium triaenonyx, Grandidierella lignorum and Melita zeylanica, the isopods Exosphaeroma hylecoetes and Cyathura estuaria, a bivalve Musculus virgiliae, a polychaete Phaecopomatus enigmatica, a crab Hymenosoma orbiculare, and a prawn Callinassa kraussi. The most important freshwater/estuarine component comprises various members of the Chironomidae. These animals feed on detritus derived mainly from Potamogeton, Ruppia and Characeae. Extensive weed cutting has resulted in drastic reductions in numbers, as was seen in 1979 when there was a complete collapse of invertebrate stocks in the Serpentine. A die-back of the Potamogeton beds in Eilandvlei resulted in a major decline of the epifauna from 297 g dry mass.m⁻² in May 1979 to 23 g dry mass.m⁻² in May 1980 (Davies 1981).

8. Fish

Prior to the construction of a sluice in the Serpentine, the lakes were dominated by marine/estuarine fish species, which entered the estuary from the sea as small juveniles during summer (October to March), and subsequently migrated to the upper lakes. Normally they returned to the sea for spawning after two years. When some species such as Mugil cephalus, Liza richardsoni and Rhabdosargus holubi were trapped in Rondevlei for a period of five years, they did not reproduce. All the marine/estuarine species here are able to tolerate salinity fluctuations, but not when the salinity falls below 2 ‰ in conjunction with low temperatures, which has resulted in the death of many fish. (Whitfield *et al.* 1981). The principal fish species in the Touw River Floodplain prior to the construction and operation of the Serpentine sluice gate are listed below. (Data from van Wyk 1977, and Ratte).

Species	Common name	Type
<u>Lichia amia</u>	Leervis	marine/estuarine
<u>Oreochromis mossambicus</u>	Mozambique tilapia	freshwater
<u>Hyporhamphus capensis</u>	Knysna halfbeak	marine/estuarine
<u>Monodactylus falciformis</u>	Cape moony	marine/estuarine
<u>Liza dumerili</u>	Groovy mullet	marine estuarine
<u>Liza richardsoni</u>	Southern mullet	marine/estuarine
<u>Liza tricuspidens</u>	Striped mullet	marine/estuarine
<u>Mugil cephalus</u>	Flathead mullet	marine/estuarine
<u>Myxus capensis</u>	Freshwater mullet	marine/estuarine
<u>Lithognathus lithognathus</u>	White steenbras	marine/estuarine
<u>Rhabdosargus holubi</u>	Cape stumpnose	marine/estuarine
<u>Hepsetia breviceps</u>	Cape silverside	estuarine
<u>Gillchristella aestivalis</u>	Estuarine round-herring	estuarine

9. Other vertebrates

Birds: According to Boshoff and Palmer (1981) the Wilderness Lakes comprise one of the most important wetland areas in the Cape Province, in terms of permanently available habitats for water birds. The system supports large populations of herbivorous and piscivorous birds, including ducks of several species, and it is an important site for both Palearctic migrant waders and southern African waterfowl undergoing moult migrations. The lakes also provide refuge and food for seabirds during adverse weather conditions off the southern Cape coast. Boshoff and Palmer (1981) counted more than 7000 water birds from 65 different species at Langvlei. Two rare species are found in this area: Circus ranivorous (African marsh harrier) and Tyto capensis (grass owl). The Cape Department of Nature and Environmental Conservation has recommended that Langvlei and Rondevlei be listed in terms of the Ramsar Convention as a 'Wetland of International Importance'.

Mammals: Palmer (1979) investigated the rodents and shrews in the system. He found Otomys irroratus (vlei rat), Rhabdomys pumilio (striped mouse), Crocidura flavescens (red musk shrew) and Myosorex varius (forest shrew) on the lower floodplain.

10. Human activity and development

At present a coast road runs just north of the dunes between the lakes and the sea, but there are plans to construct a new coastal freeway, which will undoubtedly have a detrimental effect if it passes through, or close to, the Wilderness lakes complex. The lagoon and lakes are important for tourism and recreation (water sports, sight seeing and picnicking) and the small town of Wilderness has grown up around the mouth of the river .

Nature reserve status prevails over the Touw River valley upstream of the plateau face and at Rondevlei. Agriculture and forestry are practised locally elsewhere in the system, and the remaining areas are covered by indigenous scrub and scrub forest, together with some invading exotic species.

8.10.b SWARTVLEI

Swartvlei is an estuarine lake, which is only occasionally cut off from the sea by a sand bar. This account deals mainly with the characteristics of the lake per se. A more detailed account of the area is to be found in 'Estuaries of the Cape' Part II, Swartvlei. CSIR. Stellenbosch. 1983.

1. Geography and morphology

Swartvlei is situated between Groenvlei in the east and the Touw River to the west (Fig.8.22).

<u>Location:</u>	34°0'S, and 22°46'E
<u>Area:</u>	8.8 km ² (approximately)
<u>Length:</u>	9 km (maximum)
<u>Width:</u>	3 km (maximum)
<u>Depth:</u>	5.5 m (mean), 16.7 m (maximum)

2. Hydrology and hydrography

Most fresh water enters the lake from the Wolwe, Hoëkraal and Karatara Rivers which flow down from the Outeniqua Mountains to the north. The rivers are brown due to the presence of dissolved organic matter, and this in turn produces the dark colour of the lake; hence the name 'Swartvlei' (swart = black).

Precipitation occurs throughout the year, and the rivers are perennial with no distinct seasonality of flow. Occasional floods cause peak inflow periods, but these are short lived. Inflow is about 5 times as high as rainfall, so that Swartvlei Lake does not become hyper-saline (in the same way as Lake St Lucia does).

The nearby Sedgefield Municipality removes about $2.6 \times 10^5 \text{ m}^3$ of water per year. The Department of Environmental Affairs is considering building dams on the Wolwe and Karatara Rivers, which would then alter the amount of water flowing into Swartvlei, and possibly cause an increase in salinity.

	Catchment Area km^2	Mean Runoff $10^6 \text{ m}^3 \text{ y}^{-1}$
Wolwe River	125	19.8
Hoëkraal River	109	24.8
Karatara River	106	20.1
Streams and precipitation		1.0
Total	340	66.0

Tidal influence: During the tidal phase, when the mouth is open, sea water enters the system at spring tides. When sea water enters the lake, it usually does so as a wedge, pushing underneath the less dense, fresh water, forming a distinct layer. At neap tides there is a continuous outflow from the lake, which often lasts for several days. During each period of spring to neap tide, a volume of $1.164 \times 10^6 \text{ m}^3$ of water enters the estuary, giving an annual tidal inflow of $26 \times 10^6 \text{ m}^3$.

During the lagoonal phase, when the estuary is closed by a sand bar, the level of water in the lake rises from river inflow, and the salinity decreases. This situation tends to last until residential properties are threatened by the rising waters, and an artificial breach is made in the sand bar. The estuary becomes closed in this way almost every year.

3. Physico-chemical characteristics of the water

Swartvlei lake is meromictic showing vertical stratification of salt concentration. Whereas the surface layers may show salinity of 1-8‰, the bottom may have more than 20‰. This stratification is disrupted only by very strong winds. Because there is little mixing, the deeper layers become anoxic, and hydrogen sulphide is produced by the reduction of proteinaceous sulphur, leading to a toxic environment in the deeper parts of the lake.

Temperature: seasonal changes are slow.

surface temperature, January, February, mean	25°C
surface temperature, June, July, mean	15°C

pH: 8

<u>Dissolved Oxygen:</u>	January, February, mean	7 mg.l^{-1}
	July, August, mean	9-10 mg.l^{-1}

<u>Phosphorus:</u>	soluble reactive phosphate, surface	$1.10^{-6} \text{ g.l}^{-1}$
	total dissolved phosphorus, surface	$30.10^{-6} \text{ g.l}^{-1}$
	total phosphorus, bottom	$100.10^{-6} \text{ g.l}^{-1}$
	(unavailable for plant growth)	

4. Macrophytes

The floating macrophyte Salvinia sp. is present in the tributaries, but does not extend into the lake, presumably because of the higher salinity and exposure to wind.

There is extensive growth of submerged and emergent macrophytes in water of less than 3 m. Potamogeton pectinatus is particularly important, growing submerged in water to a depth of 2 m. Together with its periphyton, it forms the basis of the primary production in the lake. In the shallow water behind the Potamogeton various members of the Charophyta are found. The emergent species Scirpus litoralis and Phragmites australis grow along the edges of the vlei, with the less prominent Typha capensis and Scirpus maritimus.

Productivity has been estimated at:

<u>Potamogeton</u>	1310 x 10 ³ kg. y ⁻¹
<u>Chara</u>	344 x 10 ³ kg. y ⁻¹
<u>Phragmites</u>	303 x 10 ³ kg. y ⁻¹
large algae, e.g. <u>Cladophora</u> spp.	90 x 10 ³ kg. y ⁻¹
smaller, attached algae e.g. <u>Cocconeis</u>	98 x 10 ³ kg. y ⁻¹

5. Phytoplankton

Populations are low and the waters of Swartvlei are classified as oligotrophic. The phytoplankton community consists largely of diatoms, dinoflagellates and flagellates. Robarts (1976) concluded that much of the phytoplankton was occupied by nanoplankton diatoms, the commonest being Coscinodiscus lineatus. He estimated that the population of the nanoplankton never exceeded 3.5 x 10⁵ cells per litre, and indicated that rates of primary production (344 kg x 10³ dry weight per annum) in the pelagic zone were the lowest recorded for any African water body.

6. Invertebrates

Zooplankton: Coetzee (1981) found two distinct communities. An aerobic one was dominated by Arcatia natalensis, Pseudodiaptomus hessei, Musculus virgiliae, veligers and calanoid copepod nauplii. In regions of low oxygen tension a community comprising cyclopoid copepods, cyclopoid nauplii and the larval and juvenile stages of polychaetes was found.

Other Invertebrates: There is a rich littoral invertebrate community, which is important in supporting a wide range of fish species. A large invertebrate population is associated with the littoral plants and is dominated by 5 species; the bivalve Musculus virgiliae, the isopod Exosphaeroma hylecotes and amphipods Corophium triaenonyx, Grandidierella lignorum and Melita zeylanica. Other important species include the tanaid Apseudes digitalis, the isopod Cyathura estuaria, the crab Hymenosoma orbiculare, and various chironomids and ostracods (Davies 1982).

7. Fish

There are 33 species present in the system, the most important of which are Monodactylus falciformis (Cape moony), which feeds on invertebrates associated with aquatic macrophytes, and Rhabdosargus holubi (Cape stumpnose), which consumes both invertebrates and plant material. Various species of mullet feed on detritus from the plant beds.

8. Other vertebrates

Amphibia: Eight species of frogs and toads have been recorded in the area.

Reptiles: 17 species of snake, and various tortoises, terrapins and turtles have been recorded.

Birds: Altogether 57 species have been recorded on the lake, in densities ranging from 100 to 5000, with an average of approximately 1000.

Mammals: 29 species have been recorded from the immediate vicinity of the lake, including monkeys, various carnivores and rodents.

9. Human activity and management

Swartvlei forms part of the natural lakeland area of the Southern Cape Province. It is a popular holiday area for aquatic recreation of all types.

8.10.c GROENVLEI

Groenvlei is the most easterly of the Wilderness lakes, but is different from the rest in having no outflow. It is green in colour, and hence its name (groen = green). Some description of the area is given by Coetzee (1980) and Martin (1960).

1. Geography (Fig.8.22)

Location: 22°50'E; 34°S.

Length: (maximum) 3.7 km

Width: (maximum) 0.9 km

Surface Area: 2.48 km²

Maximum Depth: 5.5 m

Average Depth: 3.7 m

Landscapes: The lake is separated from the sea by high coastal dunes. Geological data indicate that it was formerly connected to

the sea via part of the Swartvlei estuary. The small catchment area consists almost entirely of vegetated dunes.

2. Hydrography

This is an endorheic lake, with no direct outflow, nor any distinct inflow streams. The water balance depends entirely upon rainfall, spring flow, evaporation and seepage.

3. Physico-chemical characteristics of the water

Since Groenvlei is relatively shallow, the waters are easily mixed by wind action.

<u>Temperature:</u>	January, mean	27°C
	July, mean	13°C

<u>pH:</u>	November, mean	8.9
	June, mean	8.6

Transparency: Fairly turbid, with a mean Secchi disc value of 1.1 m. The green colour of the lake is due to the high level of soluble plant pigments found in the lake.

Salinity: This has remained fairly constant for the last 30 years at 2-3‰.

<u>Total Dissolved Solids:</u>		2 g.l ⁻¹
	Ca	54 mg.l ⁻¹
	Mg	114 mg.l ⁻¹
	Na	987 mg.l ⁻¹
	K	23 mg.l ⁻¹
 PO ₄ -P	April/May	0.2 10 ⁻⁶ g.l ⁻¹
	March	0.05 10 ⁻⁶ g.l ⁻¹
	mean, annual	0.19 10 ⁻⁶ g.l ⁻¹
 (NO ₃ +NO ₂)N	July	7.0 10 ⁻⁶ g.l ⁻¹
	April	1.0 10 ⁻⁶ g.l ⁻¹
	mean, annual	1.8 10 ⁻⁶ g.l ⁻¹
 <u>Pigments:</u> (chlorophyll + phaeophytin)		
	March	12.0 mg.m ³
	August	0.5 mg.m ³
	mean, annual	4.0 mg.m ³

4. Macrophytes

The margins of the lake support Phragmites australis, Typha latifolia ssp. capensis, Cladium jamaicense and Scirpus litoralis. The submerged species Najas marina, Chara vulgaris and Chara globularis var. kraussii occur widely across the bottom.

5. Invertebrates

Zooplankton: The zooplankton of Groenvlei differs markedly from the rest of the Wilderness lakes. It is dominated by fresh water cyclopoid nauplius larvae, copepodites and adults, as well as ostracods, cladocerans and chironomid larvae, which Coetzee attributes to the low salinity of Groenvlei. A checklist is available in Coetzee (1980). The mean zooplankton standing crop is 10 mg dry mass per m³, with numbers reaching their maximum in autumn (April/May) i.e. one month after the maximum value for the phytoplankton standing crop is obtained. During the daytime most members are found at the bottom of the lake, but at night they rise through the water column.

Benthic and Epiphytic Invertebrates: A number of relict estuarine species are found here, including Pseudosphaeroma barnardi and Grandidierella lignorum, which is a tube dwelling amphipod found in brackish conditions (with salinity less than 4‰). This latter species is endemic to the region between Cape Agulhas and Natal and is found in all the Wilderness lakes. Both of these species are also found in Lake Sibaya (8.8).

6. Fish

Two species of land-locked estuarine fish are found in Groenvlei, Gilchristella aestuarius (whitebait) and Hepsetia breviceps. Introduced fish include Micropterus salmoides (large mouth bass), Lepomis macrochirus (blue gill sunfish), and Gambusia affinis (mosquito fish). In 1976 Oreochromis (= Sarotherodon) mossambicus was introduced for angling and to help curb algal growth.

7. Other vertebrates

Reptiles: tortoises are common on the surrounding sand flats and dunes.

Birds: A great variety of birds is found on the lake, reedbeds and mudflats, including dabchicks, cormorants, ducks, moorhens, kingfishers and the Cape sea-eagles (Haliaeetus vocifer).

Mammals: There are no true aquatic mammals living in the water, but various rodents, e.g. vlei rats (Otomys spp.) and mole rats (e.g. Bathergus suillus), are found in the surrounding vegetation.

8. Human activity

The lake and its seaward catchment form part of the Goukamma Provincial Nature Reserve.

8.11 WETLANDS OF THE SOUTH WEST CAPE

by J.S. MEPHAM

In the past, the coastal plain of the southwestern Cape Province of South Africa (Fig.8.23) has supported a large number of permanent vleis (shallow lakes), temporary vleis and river floodplains. Many of these have now been drained, or used as refuse tips, and of the few remaining most show a great deal of interference by man. No comprehensive account of these water bodies is available, and most of the information in the following section has been gleaned from various theses, government reports and from personal communications. The wetlands dealt with in this section are:

- 8.11.a Botrivierlei
- 8.11.b De Hoopvlei
- 8.11.c Sandvlei

For the climate of the region see Fig.8.2 Danger Point.

8.11.a **BOTRIVIERLEI**

Botrivierlei is a coastal lake, showing only a moderate level of disturbance situated in the SW Cape between the towns of Kleinmond and Hermanus, about 110 km SE of Cape Town. It is a closed lake which lies behind beach sand dunes. At times of high water it may overflow the dunes without cutting a channel, and excess water may also be lost, via the Lamloch Swamps, to the Kleinmond Estuary some 5 km to the NW. For further information see Koop, (1982).

1. **Geography and morphology (Fig. 8.24)**

Location: 34°18'30" - 34°22'30"S; 19°04'-19°09'E.

Length: 7 km

Width: 2 km

Area: 14.9 km²

Shape: The lake is roughly triangular, with a shallow side arm, 'Rooisand', to the northwestern end, which is connected to the vlei by an 80 m wide channel, known as 'Die Keel'.

Landscapes: Botrivierlei is flanked by the mountains of the Kleinmond (c. 450 m high) in the NW, and the Hawston-Onrust-Hermanus (c. 450 m) in the SE. It is separated from the sea by a 100-200 m wide coastal dune belt, consisting of a steep, narrow barrier dune ridge 3-6 m high and a hinterland of low hummock dunes. The rest of the lake is surrounded by farmland.

2. **Geology**

The catchment area of Botrivierlei is dominated by sedimentary rocks

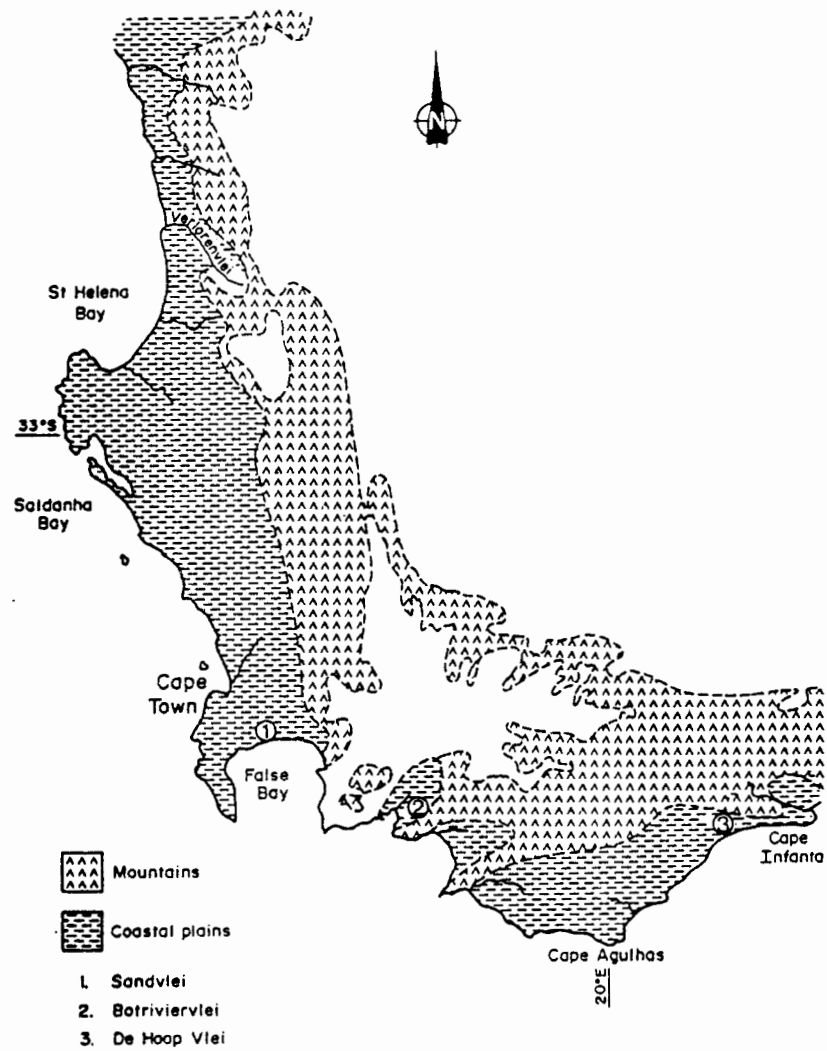


Fig. 8.23 Map of the South West Cape of South Africa showing coastal plains.

of the Bokkveld group, although Table Mountain Sandstone is found on the western and eastern borders.

The bottom materials are derived from two sources. Fine fluviatile sediments which helped fill the river valley, when the sea level began to rise about 18 000 years ago. Subsequently, marine sedimentation has occurred, with marine mud deposited in the upper reaches of the former bay and clean marine sand in the nearshore region. The deeper parts of the lake contain about 95% mud, while the shallower regions are covered by fine to medium sand.

3. Hydrography and hydrology

The Bot River and its tributaries drain the Houhoek, Groenland, Swart, Shaw's and Babilonstoring Mountains. The total length of the Bot River from the source to the dunes on the seaward side of the lake is about 42 km, and its major tributary, the Swart River is of a similar length. The catchment area covers about 813 km². There is a fairly marked seasonal pattern associated with the lake. During summer (December, January) water levels fall and the water becomes brackish to saline. In the winter months (June, July) the vlei is filled to about 2.7 m asl, which results in the water becoming less

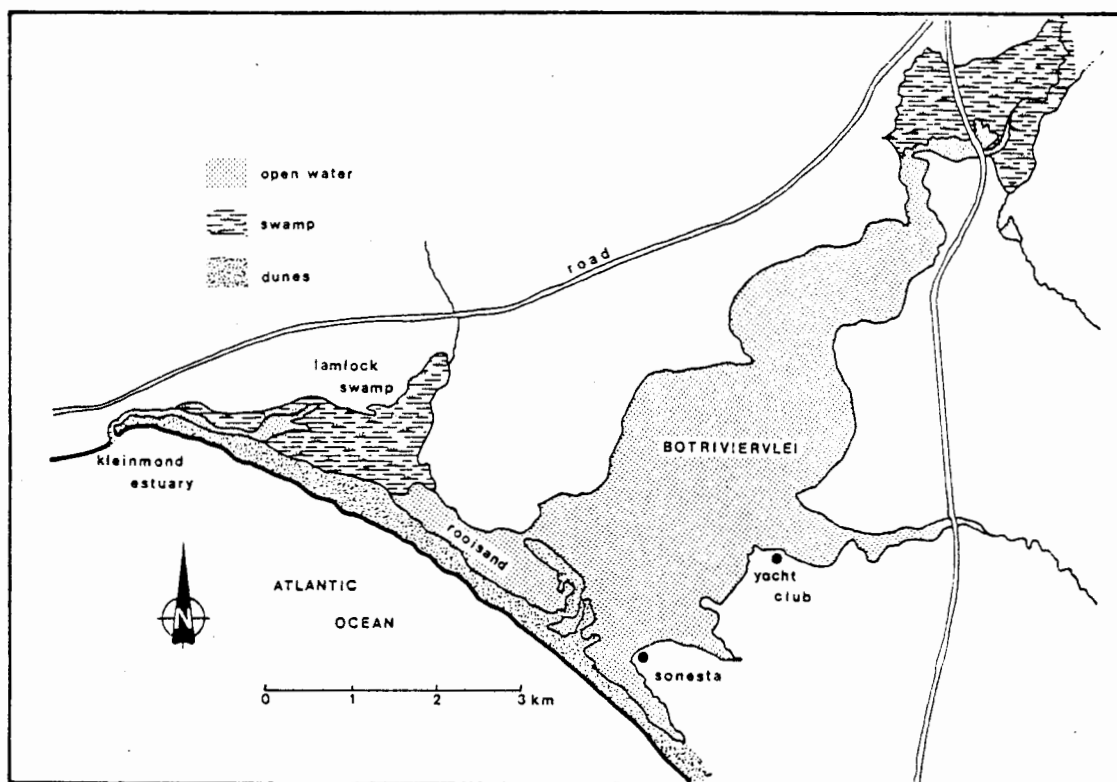


Fig. 8.24 Map of Botrivierlei

saline, and occasionally even becoming fresh. Very high water levels may cause flooding of low lying properties and erosion of the banks. The overflow into the Kleinmond Estuary provides only a very limited contact with the sea, so that the vlei cannot discharge its suspended silt load. Neither does seawater enter through this route, and marine fish are not recruited into the system. Local fishermen periodically breach the dune barrier to allow migration of fish into the lake. This results in the lake draining into the sea, leaving wide expanses of malodorous mud.

The average maximum daily river flow for the whole period 1967-79 is given as $2.52 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$. The maximum flow recorded, during July-August 1974, was $65.91 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$.

4. Physico-chemical characteristics

pH: mean for the centre of the lake, 1980-81 7.9
 range for the centre of the lake 7.3-8.3
 range for the whole lake 6.8-8.5

Temperature: For the years 1980-81 the mean temperature for the centre of the lake was 18°C , with a range of 12°C (July) to 23.5°C (January, February), and a range for the whole system of 11.9 - 23.6°C .

Turbidity: Koop (1980) recorded the following pattern: In the early morning before the onset of winds an underwater visibility of 3 m was recorded with a Secchi disc, but by afternoon, turbulence caused by winds reduced visibility to 10-20 cm, and led to the suspension of fine sediment, particularly in the more exposed lower reaches.

Salinity: The degree of salinity varies in response to climatic conditions and to whether sea water has entered or not. From September to November the salinity ranges from 3-5‰, and from January to March may reach 40‰.

Nutrients: The following values are available for the centre of the lake:

NH_4	$6.24 \cdot 10^{-6} \text{ g.l}^{-1}$
NO_3	$0.37 \cdot 10^{-6} \text{ g.l}^{-1}$
PO_4	$0.73 \cdot 10^{-6} \text{ g.l}^{-1}$

Dissolved Oxygen: results from 1980-81 show a mean annual value for the centre of the lake of 8.8 mg.l^{-1} , with a maximum in July of 10.5 mg.l^{-1} , and a minimum in November of 5.8 mg.l^{-1} .

5. Phytoplankton

Standing stocks of phytoplankton, mainly flagellates, are fairly low, probably limited by wind induced turbidity. Diatoms in the sediment are restricted to the top 5 cm of fine sediments.

6. Macrophytes

The alga, Chara sp. occurs throughout the water of the lake, and is particularly dense near the upper swamps and the Lamloch Swamps. The

epiphytic alga, Cladophora sp. grows both on submerged plants and in loose floating mats. It appears to grow spasmodically, with no distinguishable cycle.

The aquatic grass, Ruppia maritima is reported to be the most important plant in terms of biomass (Koop et al. 1982). It is found throughout the system in water shallower than 2.9 m. Potamogeton sp. is found in dense isolated patches in the upper reaches, and Sporobolus virginicus grows predominantly in areas which are periodically inundated, such as the shallow waters along the southern parts of the Lamloch Swamps. Sarcocornia natalensis and Sarcocornia decumbens are also found in the swampy areas.

The emergents Phragmites australis and Scirpus litoralis form dense reedswamps in the very wet and submerged areas, and the marsh grass Chondropetalum tectorum may be found at times completely submerged. Where water levels are lower Juncus kraussii is important and this grades into Scirpus nodosus and Juncus acutis.

7. Invertebrates

Zooplankton: Coetzee (1982) has published an extensive survey of the zooplankton for 1980-81. He obtained values of 8-298 mg dry mass per m³ of vleiwat. More than 99% of this comprised the copepods Pseudodiaptomus hessei, and Halicyclops spp., as well as copepod nauplius larvae and various harpacticoid copepods. After the vleiwat was opened artificially in 1981, many larvae of the burrowing sandprawn Callinassa kraussi appeared, which have a requirement for a salinity of more than 17‰.

Macro-invertebrates: Koop et al. (1982) recorded only 18 species of invertebrates, some of which were present in large numbers (e.g. 4000 individuals per m² for Hydrobia sp.). These eighteen species included 2 polychaetes, 2 isopods, 3 amphipods, 1 tanaid, 1 prawn, 1 burrowing prawn, various insect larvae, 1 mussel and 2 snails.

8. Fish

Fresh water species occur in the upper reaches, where the salinity is usually low, e.g. Cyprinus carpio and Oreochromis (= Sarotherodon) mossambicus. When a breach is made through the barrier dune a number of marine species enter the lake. These include Gilchristella aestuarii and Gobius multifasciatus, which breed in the estuary, and some migrants which use it as a nursery for juvenile stages e.g. Mugil cephalus and Liza richardsoni.

9. Other vertebrates

Amphibia: A number of frogs and toads have been recorded in the immediate vicinity, including Bufo rangeri (raucous toad), Bufo pardalis (leopard toad), Rana grayii (clicking stream frog) and Hyperolius horstocki (arum frog).

Reptiles: are not commonly seen, although Crotaphopeltis hotamboeia

(herald snake) and Bradypodion pumilum (Cape dwarf chameleon) have been recorded in the Kleinmond swamps nearby. Doubtless there are many other snakes in the swamps yet to be found.

Birds: 118 species of birds, including many waders and coots, have been recorded in this area, a list of which may be found in Koop (1982). A number of rare and endangered species are found here, such as Pelecanus onocrotalus (white pelican), Phoenicopterus ruber (greater flamingo), Phoeniconaias minor (lesser flamingo), Hydroprogne caspia (Caspian tern) and Haliaeetus vocifer (African fish eagle).

Mammals: The following mammals have been sighted in the immediate area; Papio ursinus (chacma baboon), Felis caracal (caracal), Genetta genetta (small spotted genet), Herpestes ichneumon (Egyptian mongoose) and Mirounga leonina (southern elephant seal). (Stuart 1981).

10. Human activities and management

Because of limited access to Botrivierlei, it is not widely used for recreational purposes. A small amount of angling and boating takes place, but only power boats with a maximum speed of 11.25 km per hour (7 mph) are permitted on the lake.

A road bridge cuts across the Phragmites swamp at the head of the vleis and the floodplains on the NW side are bisected by a 300 m long causeway leading up to the bridge, where only one, partially blocked culvert allows the passage of water. Another bridge over the Afdaks River appears to have no detrimental impact because it crosses the river above the floodplains. Two small wooden foot bridges also exist, one linking the small holiday resort, 'Sonesta', with the coastal dunes, and the other crossing the Kleinmond estuary near its mouth. They appear to have no impact on the functioning of the system.

A small marina constructed on the SE shore of the lake has proved not to be very popular.

Away from the coast, the lake is bounded by farm land. To the east the land is used mainly for grain production and sheep grazing, while to the west, flower farming of endemic species is practised, together with some grazing by sheep and cattle. Much of the land to the east is still covered by wet coastal fynbos (heathland comprising fine-leaved shrubs), although it is somewhat disturbed. Parallel to the shore the coastal dunes are covered by local dune vegetation, but they are rapidly being invaded by the alien species Acacia cyclops, Acacia saligna and Leptospermum laevigatum.

8.11.b DE HOOP VLEI

De Hoop Vlei is a long narrow closed lake, lying on the coastal plain, about 50 km NE of Cape Agulhas, the most southerly point of Africa.

1. Geography and morphology (Fig. 8.25)

Location: 34°31'S: 20°23'E.

Length: 18 km when full.

Width: up to 1 km.

Area: 6.2 km².

Depth: mean 1.1 m, after 1957 flood 7.7 m.

Landscapes: The southern extremity of the vlei is separated from the sea by 2.5 km of bush-clad sand dunes. At its northern end it merges imperceptibly with the Sout River, which feeds it. Here the vlei winds through a limestone range, locally referred to as the 'duine', which runs parallel to the coast from E to W. Precipitous and eroded limestone cliffs of approximately 300 m flank the vlei on both sides along its upper reaches. Although much reduced in height (10-30 m), these cliffs persist along the eastern margin of the lower half, resulting in a complete absence of shore, with the bank being formed of cliff face or rubble. However on the western aspect, the limestone range is replaced by coastal plain and there is a shelving shore of sand with interspersed limestone rocks. Further away to the SW lie the Bredasdorp Mountains, and to the N and NE the Langeberg Mountains.

2. Geology

De Hoop Vlei lies on Tertiary limestone and the hills to the north comprise Bokkvelde shales. Many caves and potholes occur in the limestone, which in places is 200 m thick.

There are two main kinds of soil; Mizpah and Glenrosa.

3. Climate

De Hoop lies just inside the winter rainfall area of the southern Cape, and has warm summers and mild winters.

Type: Cf (Köppen)

<u>Temperature</u> :	mean annual	17.5°C
	hottest month, January, mean	22.5°C
	coolest month, July, mean	11.5°C

Rainfall: There is no definite rainy season, although slightly more rain falls between March and August than during the rest of the year. The mean annual precipitation in the catchment is between 330 and 410 mm, with an average of 369 mm. Because of the rain shadow effect of the Hottentots Holland and Langeberg Mountains, this is somewhat lower than that in Cape Town (626 mm.y⁻¹) and the Wilderness area (860 mm.y⁻¹). Rainfall is predominantly cyclonic, and in the summer cloudbursts lead to soil erosion.

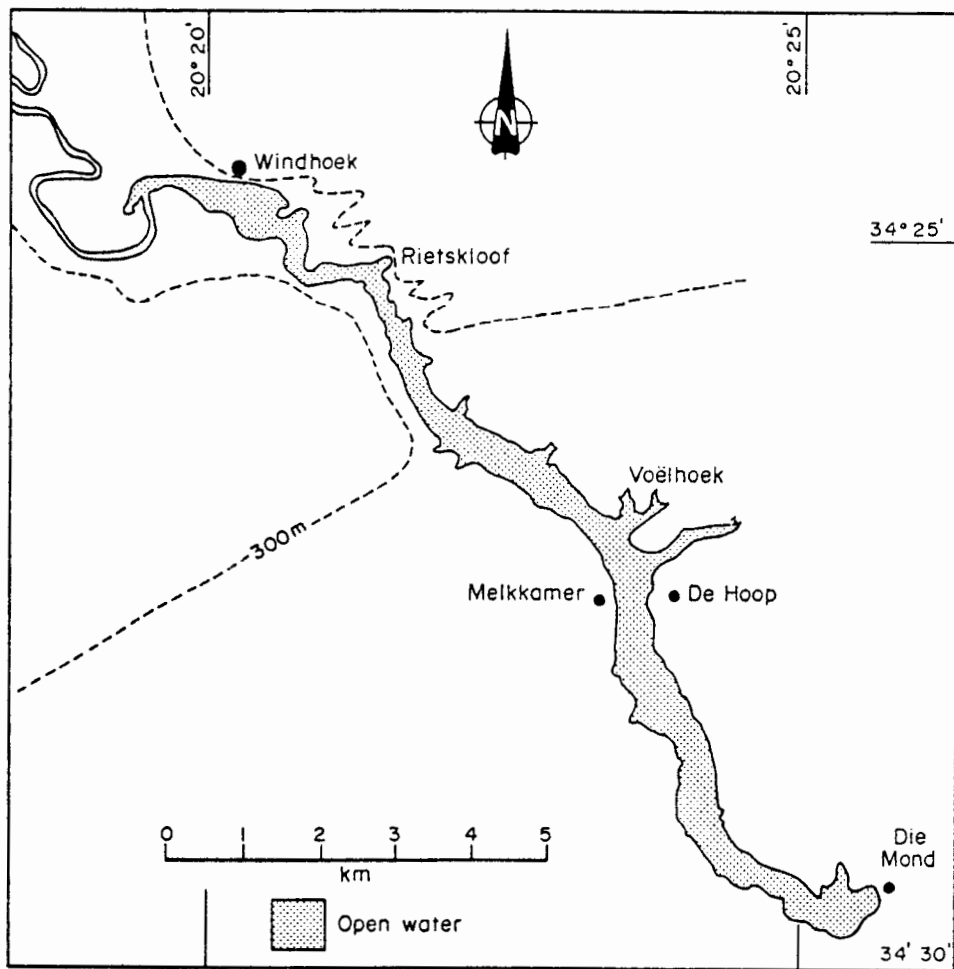


Fig. 8.25 Map of De Hoop Vlei, showing 300 m contour of the limestone escarpment.

wettest month, August, mean	47.7 mm month ⁻¹
driest months, Dec/Jan, mean	21.1 mm month ⁻¹

Wind: In winter the annual prevailing wind is from the NW and in the summer from the SW. The area is exceptionally windy and there are few days in summer when a strong 'south-wester' does not blow. Winds are at their strongest at 15.00h when velocities may reach 60 km.hour⁻¹.

4. Hydrography and hydrology

Most of the water enters the vlei from the Sout River, 141 km long, which drains the grain farming area of the Bredasdorp district. The perimeters of the region are drained by the Kars, Breede, and Riviersonderend.

The vlei has no direct outlet to the sea, but local legend has it that a sink hole once provided an outlet to the sea, but that this became permanently blocked after floods in 1906. Since then two channels were constructed to remove excess water. Cloete's Sloop is operated by a sluice gate, and was last used in 1962, but the other channel was soon filled with sand and has never been used.

During the past century the vlei has overflowed its banks from two low points on the west bank, and flooded the surrounding farmland twice (December 1906, August 1957), and it almost completely dried out in 1903, 1945, 1975 and 1980. At these times a few remaining, shallow pools allowed the survival of a number of fish and other aquatic life forms.

5. Physico-chemical characteristics of the water

De Hoop Vlei was classified as alkaline and eutrophic by Harrison in 1948. It has a pH of 8.5-9.5. The total dissolved solids usually range from 5 to 11‰, but during the dry period of 1980-81 it rose to 50‰.

6. Macrophytes

The lake is almost devoid of emergent macrophytes, and the submerged species Potamogeton pectinatus varies in density according to the prevailing salinity, and probably also to the levels of herbicides which have run off from the adjacent farm lands.

7. Fish

There is one indigenous fresh water species of fish present, Sandelia capensis (Cape kurper). Recently, Oreochromis (= Sarotherodon) mossambicus has been successfully introduced by the local Department of Nature Conservation.

8. Other vertebrates

Reptiles: Until the late 1960s Pelomedusa subrufa (water turtles) were common, but there appears to have been a decline since the droughts of 1975 and 1980.

Birds: De Hoop Vlei is registered as a wetland under the Ramsar Convention, and is particularly important as a wader habitat. The beds of Potamogeton pectinatus support large flocks of coot, and varying numbers of ducks, grebes, small waders, herons, little egrets and yellow billed egrets. An annotated check list is available in Uys and Macleod (1966).

9. Human activity and management

The natural state of the catchment area has almost entirely been replaced by agricultural crops and planted pasture. The Cape Department of Nature Conservation purchased the farm, De Hoop, in 1956 for the establishment of a nature reserve. Subsequently more land has been purchased, and the reserve now has an area of 17 846 ha. The reserve includes a number of ecosystems, mobile sand dunes, rocky shore, coastal fynbos (heathland), mountain fynbos, caves, and most of De Hoop Vlei.

8.11.c SANDVLEI

Sandvlei is a small estuarine lake in the vicinity of Cape Town, which over the years, has suffered a great deal of interference and alteration. The original lake had gently graded shores, was subject to wide seasonal fluctuations in water level and was fringed by typical wetland vegetation. It was first drained in 1866, in an ineffectual effort to reclaim the land, and subsequently it has been dredged many times in order to supply water suitable for boating. In 1969 a proposal was made to develop the whole area as a marina and ocean-going yacht harbour, but after the marina was completed in 1973, the rest of the project was cancelled. The 'Marina da Gama' occupies the E and NE shore of Sandvlei, and communicates with the main body of the vlei via excavated channels. Many of the previously graded shores have been replaced by steep banks, often artificially stabilised. The surrounding area has become extensively urbanised and the waters are widely used for recreation. However there are still natural components in the system, which are of vital importance to its viability.

1. Geography and morphology

Sandvlei (Fig.8.26) lies in the southwestern extremity of the Cape Coastal Flats, and drains into False Bay to the south. The western shore lies close to the steep sandstone slopes of the Muizenberg Mountain, while the eastern and northern shores are bounded by the remains of the sand dunes which were formerly present in the area. A 700 m long railway embankment runs N-S across the northwestern part of the vlei, with only a single culvert allowing the passage of water. Behind this barrier there is an extensive Phragmites and Typha swamp, which is very different in character from the rest of

the water body. A road bridge spans the canalised outlet from the entire system, some 200 m from the sea.

Location: 34°05'S; 18°28'E.

Length: 3.4 km Width: maximum 2.1 km

Area: approximately 4 km²

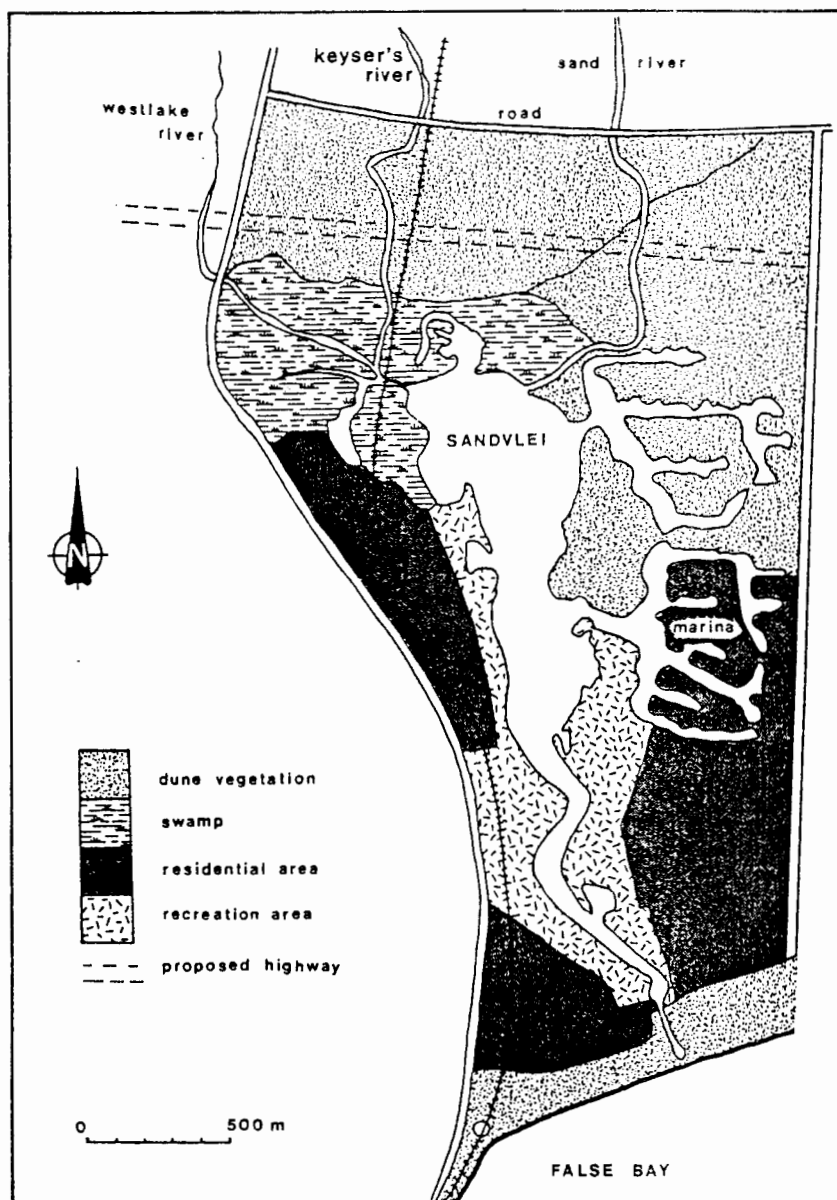


Fig. 8.26 Map of Sandvlei

Depth: The bottom profile is complex, since Sandvlei has been dredged many times since 1947. Currently, little of the vlei exceeds 1 m in depth, and the northern end is particularly shallow. A number of channels, including the Marina da Gama canal system, have been dredged to about 2m.

Local Authorities: The entire water body and shore line of Sandvlei is controlled by the Cape Town City Council, which is also responsible for 42% of the catchment area. The remaining area of the catchment comes under the jurisdiction of the Divisional Council of the Cape, and various state government departments including Defence, Forestry and Prisons.

2. Geology

The catchment area of Sandvlei comprises mountains to the west and a coastal plain to the east. The mountains are derived from the original Malmesbury System of shales and quartzites, which were intruded by Cape granite, and then overlain by Table Mountain Sandstone. Subsequently the Table Mountain Sandstone was eroded to expose the underlying granite and Malmesbury System. At the base of the sandstone there is a thin band of softer shale, richer in iron and manganese than the sandstone above. Iron derived from here was precipitated as a lateritic layer which now extends into the bed of Sandvlei, and in places makes hydraulic dredging difficult. The river water draining into the lake from the mountains is soft, peat-stained and slightly acid. The coastal plain to the NE is of Recent origin, and the soils consist of fine-grained quartzitic sands mixed with marine shell fragments. This calcareous material causes water from this area to be slightly alkaline.

3. Climate

This region has a typical mediterranean climate, with cool wet winters (May to September), and warm to hot, drier summers (October to April).

Rainfall: Figures are available from Plumstead, on the eastern edge of the catchment (34°01'S; 18° 28' E).

mean annual rainfall	887.4 mm
wettest month, June (mean)	193.8 mm
driest month, February (mean)	13.7 mm

In the winter there are between 12 and 15 days of rain per month, and during summer 4-5 days of rain per month.

Wind: From October to May wind is predominantly from the S and SW, with an average velocity of 39.6 km h⁻¹, and from June to September mainly from the N, with an average velocity of 50.4 km h⁻¹.

4. Hydrography and hydrology

It is generally observed that high water levels in Sandvlei correlate closely with high rainfall.

The total catchment area is 8500 ha. A number of small streams and rivers drain into the vlei, including Little Princess Vlei stream (1.05 km), Westlake stream and tributaries (4.7 + 1.1 km), Keyzers River + tributaries (7.5 + 2.2 km), Langvlei Canal (3.95 km) and Sand River Canal/ Diep River (12.6 km).

No quantitative data are available for runoff for this area.

A distinct delta is forming where the Sand River enters the vlei, and it has been proposed that a silt/garbage trap should be built to counteract this. The beds of *Phragmites* and *Typha* trap much of the sediment delivered by the Keyzers and Westlake Rivers.

5. Physico-chemical characteristics

Detailed figures for 10 different locations within Sandvlei are given by Morant and Grindley (1982). Those given here are for the centre of the lake.

	minimum	maximum
surface temperature (°C)	11.0	24.3
bottom temperature (°C)	12.2	23.1
pH	8.0	9.2
salinity (‰)	2.23	19.34
transparency (m)	0.2	1.8
conductivity (10 ⁻⁶ S.cm ⁻¹)	375	2700
total dissolved solids (mg.l ⁻¹)	2536	21 838
NH ₃ -N (mg.l ⁻¹)	less than 0.01	2.6
NO ₂ -N (mg.l ⁻¹)	less than 0.01	0.29
NO ₃ -N (mg.l ⁻¹)	0.01	1.18
PO ₄ -P (mg.l ⁻¹)	less than 0.01	0.26
alkalinity as CaCO ₃ (mg.l ⁻¹)	64	257
SO ₄ (mg.l ⁻¹)	330	1580
surface dissolved oxygen (mg.l ⁻¹)	6.8	17.0
bottom dissolved oxygen (mg.l ⁻¹)	0	12.0

Mixing regimes: The water body is well mixed for most of the year because the lake is shallow and conditions are generally windy. The only time that stratification may occur is during late autumn and early winter (May, June). At this time the estuary mouth is usually open, and sea water entering flows under the outflowing fresh water. This heavier saline water tends to accumulate in the deeper channels of the Marina da Gama, where reduction of sulphurous organic debris results in the production of hydrogen sulphide. At the resumption of windy conditions and the mixing of the layers in the water, the hydrogen sulphide is released as a foul-smelling, noxious gas polluting the expensive residential area of the marina.

6. Macrophytes

By far the most common submerged macrophyte species is Potamogeton pectinatus. This grows in dense beds particularly in the middle reaches of Sandvlei, and contributes oxygen, food and shelter for other organisms living in the system. However it interferes considerably with boating activities and the authorities are under permanent pressure to remove it. In 1977 the Cape Town City Council harvested 1 000 tonnes wet weight of Potamogeton together with some of the alga Cladophora, and in 1981 approximately 700 tonnes. Carefully controlled removal is probably beneficial in that it exports excess nutrients which might increase the eutrophication of the lake. Other submerged and floating species include Ruppia marina, Myriophyllum aquaticum, Ceratophyllum demersum, Lemna gibba, Eichhornia crassipes, Nymphaea spp. and Aponogeton distachyos. The latter three occur mainly in the streams entering the vlei.

The emergent species Phragmites australis covers a large area to the NW of the vlei and many small patches of Typha capensis, Scirpus nodosus, Scirpus litoralis, Scirpus maritimus and Juncus kraussii to the N, grow near the bird sanctuary and along undeveloped canals.

Numerous algae have been reported growing in Sandvlei, including Enteromorpha spp., Chara fragilis, Spirogyra sp., Cladophora sp., Lyngbya sp., Nitella sp. and Lamprothamnium sp. Some of these grow on the artificially stabilised canal banks, causing unpleasant conditions when they decay. Kelps (mainly Eklonia maxima) are sometimes washed in from the sea.

7. Phytoplankton:

Approximately 18 species of diatoms have been found in Sandvlei, many of which are epiphytic on submerged plants. At certain times of the year Oscillatoria blooms cause an unsightly surface phenomenon. Begg (1976) reported that the toxic alga Prymnesium parvum was the cause of a high mortality of fish at that time.

8. Invertebrates

Zooplankton: The most common zooplankton species is Pseudodiaptomus hessei, which is important in the feeding of several fish species. At times the rotifer Brachionus plicatilis becomes abundant. A complete list of zooplankton is given by Morant and Grindley (1982).

Macro-invertebrates: The burrowing polychaete Ceratonereis hircinicola, the amphipods Melita zeylanica and Austrochiltonia subtenuis (= Afrochiltonia capensis), the isopod Munna sp. and the mollusc Tomichia ventricosa have been recorded by Shelton (1975). Of particular interest is the polychaete Ficopomatus enigmatica which produces tubes, up to 1.5 m long, on hard substrates such as concrete. The crown crab Hymenosoma orbiculare is common, as is the shrimp Palaemon pacificus.

A number of insects such as the mayfly Cloeon lacunosum, and the dragonflies Crocothemis erythraea and Ischnura senegalensis are common in summer.

9. Fish

Sandvlei is important as a fish nursery, although this rôle has been adversely affected by recent manipulations to maintain water in the vlei. Because there is a salinity gradient from the seaward margin to the head of the lake, a range of fish types are able to make use of the lake. Originally there was one species of fresh water fish, Galaxius zebratus, but in 1896 Cyprinus carpio was successfully introduced. Oreochromis (= Sarotherodon) mossambicus is tolerant to a range of salinities and was introduced into the vlei during the 1970s. Other fish of importance include the herbivorous mullets, Liza richardsoni and Mugil cephalus, which subsist largely on the epiphytic diatoms and detritus in the weed beds. Large numbers of the juvenile mullet support the many piscivorous birds, and they also attract predatory fish such as Lithognathus lithognathus (white steenbras), Rhabdosargus globiceps (white stumpnose), Pomatomus saltatrix (elf) and Lichia amia (leervis).

10. Other vertebrates

Amphibia: 16 species of frogs and toads have been recorded in the area. A species list is available in Morant and Grindley (1982).

Reptiles: 23 species of snakes, 15 species of lizards and 3 species of tortoise have been recorded here. A species list is available in Morant and Grindley (1982).

Birds: 150 bird species have been recorded at Sandvlei, which is an important refuge for waders when local, more temporary water bodies dry out. In former times, before 1960, wading birds such as flamingoes and little struts were very common, but since the draining and dredging of recent years, these have become very infrequent visitors, and the commonest birds now are piscivores such as white pelicans, darters, cormorants and grebes.

Mammals: At present a range of rodents are found in the area plus a few carnivores such as Felis caracal (caracal) and Felis lybica. It is feared that these latter may eventually disappear when the Princess Vlei Highway is completed, which will finally enclose the entire area within busy roads.

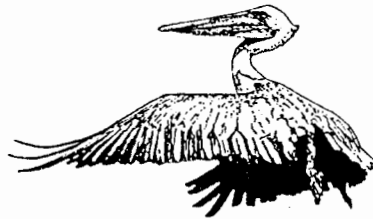
11. Human activity and management

Sandvlei is a small shallow lake lying within the urban region of Cape Town. It is surrounded by roads and residential areas, and is much frequented in the pursuit of recreation. Apart from the controversial issue of removing Potamogeton, mentioned in part 6. Macrophytes, there are a number of other problems associated with the system.

There are 9 sewage pumping stations near Sandvlei and its influent rivers. At least five of these overflow at intervals varying between twice per year and once every ten years. On these occasions calcium hypochlorite is added to the relevant canals and water areas.

Toxic effluents, from an industrial estate along the Keyser's River, include organic solvents and heavy metals which form part of the discharge from a food factory, a saw mill, a textiles mill, and several electronics and engineering factories.

The Sand River/Langvlei Canal passes through a low income housing area, and a squatter area which has no sanitation. Every conceivable kind of rubbish constantly finds its way into the stream, and ultimately into Sandvlei. Previously an ineffectual rubbish trap was used, but in 1982 proposals were made to build a new trap to the north of the Wildwood Bird Sanctuary.



MADAGASCAR
Coordinateur

MADAGASCAR
Co-ordinator

Jacques MOREAU

1. Géographie (fig. 9.1 et 9.2)

L'île de Madagascar (590 000 km²) est caractérisée par l'absence de plans d'eau de grande superficie semblables aux grands lacs africains mais l'ensemble des eaux continentales malgaches recouvre environ 500 000 ha (Kiener 1963). L'immense majorité des eaux dormantes sont, en fait, des eaux plates situées à basse altitude. Les deux principales exceptions sont les bassins du lac Alaotra et du lac Itasy situés sur les hauts plateaux et très étudiés en raison de leur proximité de la capitale Tananarive (Antananarivo). Il faut mentionner aussi les lagunes toutes présentes sur la côte Est de l'île et faisant l'objet d'une étude distincte.

Du point de vue géologique, le sous-sol de Madagascar est constitué au centre et à l'est (3/4 de la superficie de l'île), d'un socle cristallin ancien. Des formations volcaniques affleurent au centre du pays essentiellement dans la région du lac Itasy évoqué plus loin. Les zones de basse altitude et le littoral ouest de l'île sont sur un sous-sol calcaire; la transition avec le socle cristallin se faisant par des affleurements gréseux.

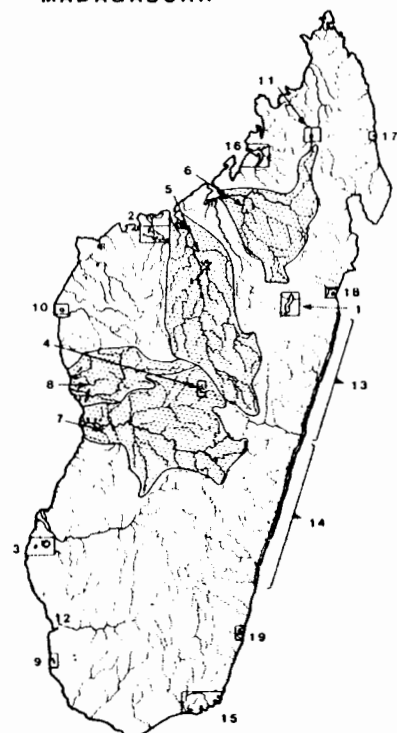
Du point de vue pédologique, l'île de Madagascar peut être divisée en trois grandes zones:

- a) Le versant oriental: on note la prédominance des sols ferrallitiques "jaune sur rouge", le plus souvent fortement désaturés, et parfois riches en concrétions et en résidus d'altération gibbsitiques dont la formation pourrait correspondre à des variations climatiques anciennes. Dans ces sols, la gibbsite est généralement associée à la kaolinite et il n'est pas rare d'y trouver de la goethite.

Les sols formés sur alluvions (sols peu évolués ou sols hydromorphes) ont généralement des teintes jaunâtres; ils sont faiblement micacés et le taux de saturation n'excède jamais 30%.

En arrière des cordons littoraux sableux on remarque dans les marais à Pandanus (Pandanaçées) et Typhonodorum lindlyanum (Aracées), la présence de sols tourbeux riches en sulfure.

Région 9
MADAGASCAR



- 1 Lac Alaotra (91 a)
- 2 Lac Kinkony (91 b)
- 3 Lacs Ihotry et Namonty (91 c)
- 4 Lac Itasy (91 d)
- 5 Bassins de la Betsiboka et du Kamoro (91 e)
- 6 Bassin du fleuve Bemarivo (91 f)
- 7 Bassin de la Tsiribihina (91 g)
- 8 Bassin des fleuves Soahanina et Manambolo (91 h)
- 9 Lac Tsimanampelsoa (91 A)
- 10 Lac Mandrozo (91 B)
- 11 Lac Ankitrobaka (91 C)
- 12 Marais Anketraha (91 D)
- 13 Zone Pangalanos nord (92 a)
- 14 Zone Pangalanos sud (92 b)
- 15 Lagunes de Taolanaro (Fort Dauphin) (92 c)
- 16 La Loza (92 d A)
- 17 Lagune Ampahana (92 d B)
- 18 Lagune Tampolo-Fenerive Est (92 d C)
- 19 Lagune Masiseka (92 d D)

Fig. 9.1 Région 9: Madagascar.
Systèmes traités dans ce Répertoire.

République de Madagascar
Malagasy Republic

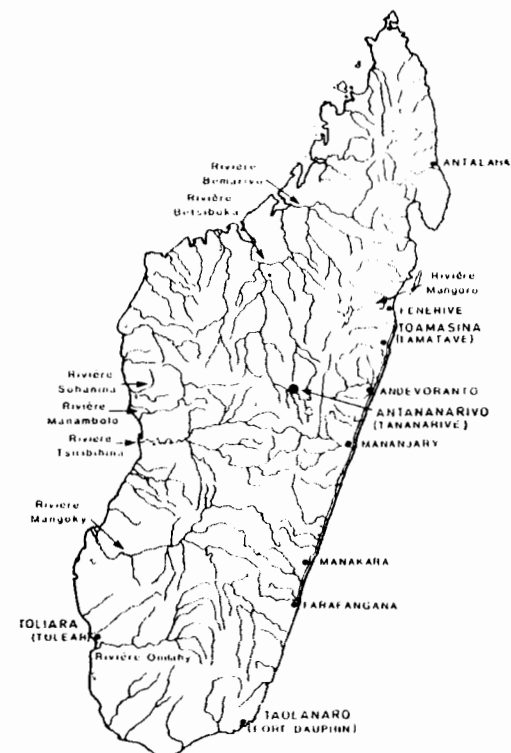


Fig. 9.2 Hydrographie de Madagascar.

Sur des matériaux sableux (quartzites, sables des cordons littoraux) se forment des podzols de nappe.

- b) Le domaine des Hauts-Plateaux à influence occidentale: Les sols ferrallitiques rouges deviennent prédominants. Les sols correspondant à une altération ancienne sont compacts et fortement désaturés. Les minéraux de néosynthèse sont essentiellement la kaolinite et la gibbsite. Sur les plateaux du Moyen Ouest, les sols rouges ferrallitiques friables ont une faible teneur en gibbsite et un taux de saturation souvent supérieur à 30%. Le fer y est sous forme de composés amorphes.

Les sols formés sur alluvions ont des caractères d'hydromorphie moins marqués que dans les régions orientales. Ils sont moyennement saturés; ce sont des sols peu évolués ou des sols hydromorphes moyennement organiques (sols à gley et à pseudogley). Cependant dans certaines dépressions (plaine du lac Alaotra), des sols tourbeux se développent sous une végétation dense de cypéracées.

- c) La zone occidentale et méridionale: C'est ici que l'influence de la roche-mère peut devenir prédominante. Les types de sols observés, en dehors des basses vallées, appartiennent à la classe des sols ferrugineux tropicaux, à la classe des vertisols, à la classe des sols méditerranéens ou à la classe des sols calcimorphes. Les minéraux de néosynthèse sont essentiellement la kaolinite et la montmorillonite. La présence de gibbsite parfois signalée dans des sols rouges méditerranéens correspond vraisemblablement à une altération ancienne. Les sols ferrugineux tropicaux sont bien représentés par les matériaux d'épandage anciens issus le plus souvent des formations gréseuses (sables roux). Sur les dépôts alluviaux en provenance des zones cristallines, il y a prédominance des sols peu évolués, bien saturés fortement micacés.

Les sols hydromorphes restent localisés dans des dépressions; ils sont généralement faiblement organiques. Dans les deltas, la présence de sols halomorphes est fréquente.

2. Climat (fig. 9.3)

La latitude de Madagascar implique des températures annuelles moyennes élevées, partout supérieures à 15° sauf dans les régions de hautes montagnes. Elle explique aussi l'existence d'une saison sèche dans l'année mais l'altitude, la continentalité ou l'exposition à des vents chargés d'humidité et transportant des masses d'air instables, entraînent des nuances, voire des différences régionales importantes.

A première vue, deux domaines se juxtaposent: l'un aux pluies abondantes, à la saison sèche courte et parfois même inexistante, aux températures relativement modérées et égalisées, malgré l'étirement en latitude, par la forte humidité persistante toute l'année; l'autre aux saisons plus contrastées et aux températures moyennes annuelles plus élevées.

- a) Les zones tropicales humides et tropicales d'altitude: Elles couvrent presque toutes les régions orientales mais aussi une partie

MADAGASCAR

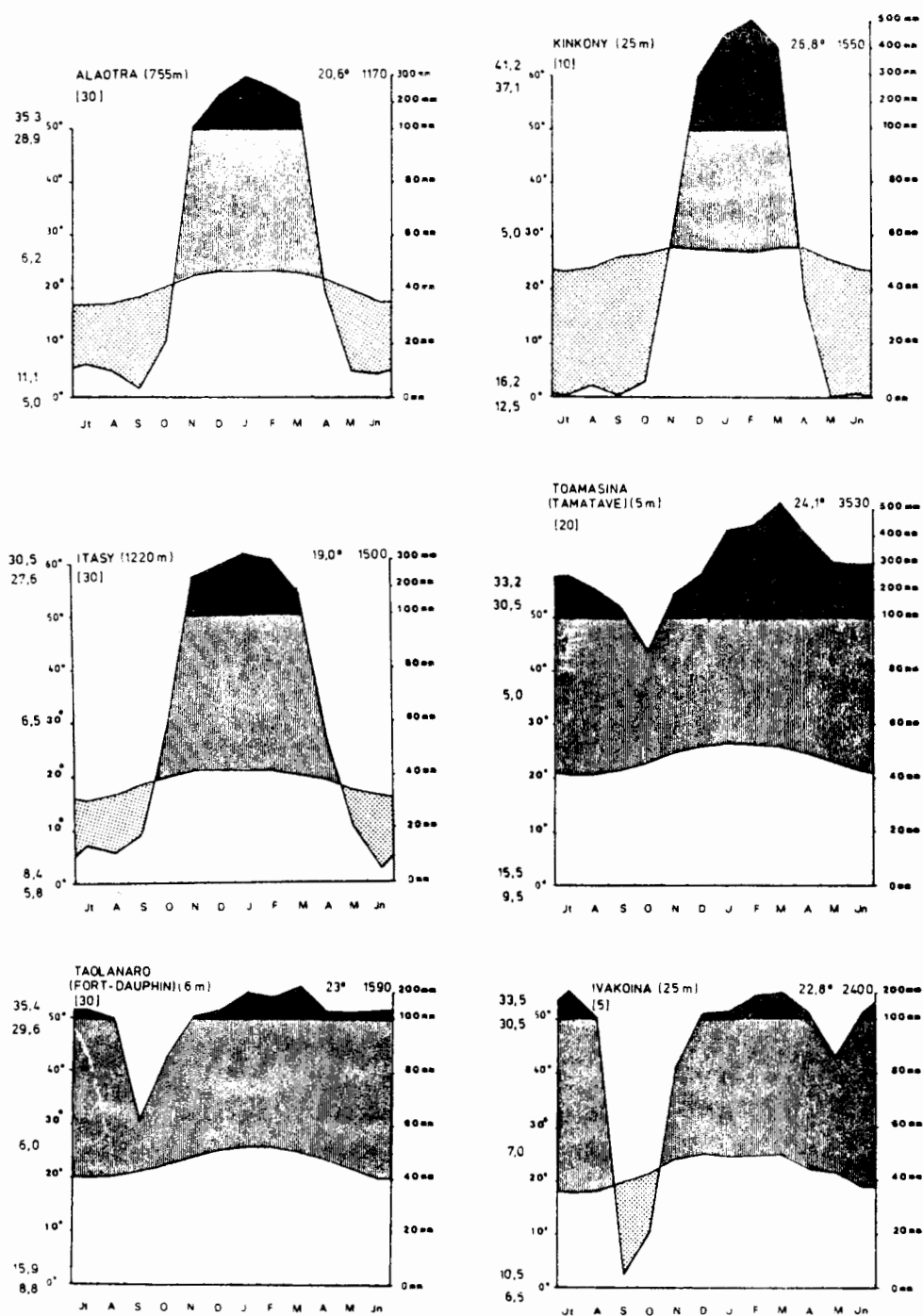


Fig. 9.3 Diagrammes climatique de Madagascar.

des Hautes Terres et un fragment de la côte NW. L'altitude y introduit la plus importante subdivision.

Les régions à altitude inférieure à 800 m se caractérisent par des pluies abondantes (au moins 1500 mm par an) et bien réparties dans l'année, puisque qu'aucun mois n'est sec. C'est la région orientale soumise toute l'année au souffle de l'alizé générateur de pluies quasi-permanentes sous l'effet des ascendances orographiques. Une assez forte nébulosité caractérise ces régions au ciel fréquemment couvert de strato-cumulus. Pluies, ciel couvert, forte humidité atmosphérique ont pour effet commun d'égaliser les températures dans l'année (amplitudes annuelles faibles) et dans l'espace (faible différence thermique du N au S malgré l'étirement en latitude). La température de l'air varie entre 22 et 32°C.

Dès que l'altitude augmente, la température moyenne annuelle fraîchit. La bordure supérieure du gradin oriental constitue une limite climatique. Sur les hautes terres, la pluviosité demeure forte (800 à 1500 mm) mais se répartit plus mal dans l'année. L'influence de l'alizé cessant, les saisons deviennent plus tranchées. Dès lors, le régime pluviométrique tropical reprend, faisant alterner une saison estivale pluvieuse (température de l'air : 25 à 30°C) et une saison hivernale sèche (température de l'air : 10 à 20°C).

- b) Les zones de climat tropical sec et semi-aride: L'W et le S malgaches appartiennent à des climats où le contraste entre saison sèche et saison humide s'accroît dans l'année. Les phénomènes d'humidité modérateurs des températures diminuent tandis qu'en certains secteurs l'effet de continentalité devient prédominant. Pour ces raisons, les moyennes thermiques annuelles croissent et, à latitude égale, sont bien supérieures à celles du versant oriental (température de l'air: 20 à 40°C). L'accentuation de la sécheresse vers le S est significative et permet de distinguer deux domaines.

Le domaine tropical sec: les régions du NW et de l'W ne reçoivent des précipitations qu'en été, apportées par la "mousson". La région du NW (entre Majunga et Analalava) frappée de plein fouet par celle-ci dès le début de l'été enregistre les plus forts apports. Vers le Sud, l'orientation moins propice de la côte et des lignes maîtresses du relief d'une part, l'arrivée plus tardive et le retrait plus précoce des masses d'air ayant déjà perdu une partie de leur humidité sur des régions plus septentrionales d'autre part, expliquent la diminution des totaux pluviométriques annuels autant que la moindre durée de la saison pluvieuse.

Le domaine semi-aride: dans le Sud et le Sud-Ouest malgaches, les effets de continentalité et la sécheresse plus accusée élèvent les moyennes thermiques annuelles qui restent fortes pour la latitude. Mais la sécheresse s'accroît justement à cause de cette latitude. Les masses d'air originaires de l'alizé parviennent stabilisées par leur descente des Hautes Terres; la mousson dure peu et ses apports réduits ne sont que faiblement compensés par les pluies frontales méridionales.

3. Hydrographie

Les bassins versants des fleuves s'écoulant vers l'Ouest et auxquels sont associés de nombreux plans d'eau étudiés ici, ont une plus grande superficie que ceux des fleuves coulant vers l'Est. En effet, la ligne de partage des eaux, qui suit une direction N-S au moins en première analyse, est plus proche de la côte orientale de Madagascar que de l'autre (fig. 9.2).

4. Pêche

Il faut signaler la grande diversité des engins utilisés à Madagascar, qui se retrouve à des degrés divers sur chacune des zones considérées. Les engins traditionnels (nasses, harpons, barrages) sont pratiquement encore employés partout, surtout dans les zones à basse altitude et dans les eaux saumâtres. Les engins plus efficaces: filets maillants, sennes, éperviers, sont apparus vers 1950 et l'emploi des fils monofilaments, notamment pour filets maillants et éperviers, s'est généralisé à partir de 1965 d'abord sur les hauts plateaux. Enfin, les pêcheurs exercent leur activité en liaison avec les travaux agricoles, essentiellement la riziculture.

9.1 EAUX DOUCES

9.1.a LAC ALAOTRA

1. Géographie

Situation: Le lac Alaotra est situé au NE de Tananarive, dans la dépression appelée "Cuvette Shihanaka", par 17°28' S et 48°30'E (figures 9.4). Le bassin versant a une superficie de 6000 km².

La surface libre du plan d'eau couvre 220 km² auxquels il faut ajouter 350 km² de marais dans la partie sud-ouest, en période de hautes eaux. Le lac proprement dit mesure 40 km dans la plus grande longueur; sa largeur varie de 3 à 8 km. Sa cote moyenne est de 751,50 m à l'étiage et de 753,50 m en hautes eaux.

Le lac est alimenté à l'W et au S par 3 rivières principales, l'Anony, la Sahamaloto et la Sahabe, qui y parviennent après avoir traversé les grands marais de l'W et du SW. A l'E, de nombreux cours d'eaux de faible importance se déversent également. L'émissaire, le Maningory, prend naissance sur la rive nord-est et se jette dans l'Océan Indien à 200 km au Nord du port de Tamatave.

2. Géologie

La cuvette du lac Alaotra correspond à une cuvette d'érosion (surface fin tertiaire) qui a été élaborée dans des limons réputés tendres: gneiss à pyroxène et amphibole appartenant au système du Vohibory et gabbros anciens présentant une extension marquée vers le Nord. Les

falaises Sihanaka à l'Ouest et Betsimisaraka à l'Est, qui délimitent la cuvette du lac, sont constituées en revanche de matériaux difficilement altérables: migmatites granitoïdes et leptynites à grenat.

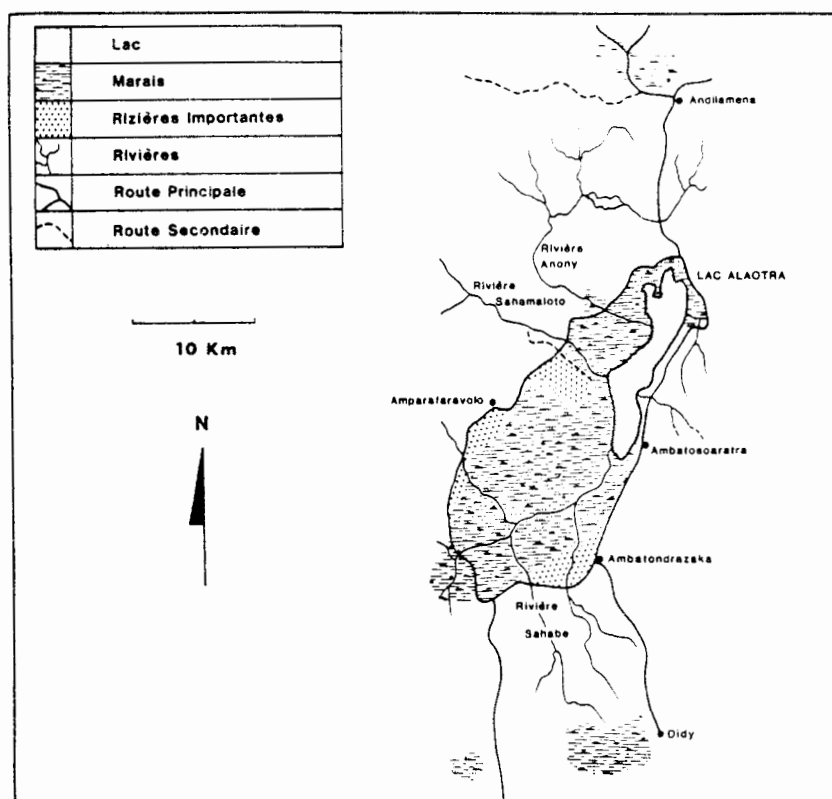


Fig. 9.4 Lac Alaotra (9.1.a)

3. Pédologie

La partie occidentale du lac est occupée par des sols marécageux et tourbeux. L'épaisseur de l'horizon tourbeux surmontant un horizon réduit (gley) peut atteindre 2 à 3 mètres. Au contraire, à l'Est, les dépôts, qui sont actuels, ennoient la cuvette et fossilisent les tourbes; on observe la formation de zones exondées recouvertes de sols peu évolués.

Les bordures sud et nord du lac correspondent à des zones où les sols profonds ont été très peu érodés. Selon la terminologie de Bourgeat (1972), ce sont des sols ferrallitiques acides lessivés "rouges" plus ou moins anciens sur gabbro, des sols "jaune-rouges" sur roches acides et "jaunes" sur alluvions anciennes.

4. Hydrologie

Le lac Alaotra est le vestige d'un lac beaucoup plus grand dont la création date vraisemblablement de l'ère tertiaire. C'est un lac d'origine tectonique. L'évolution ancienne de la cuvette du lac Alaotra

a été l'objet de plusieurs travaux (Longuefosse 1923; Bourgeat & Petit 1969). Des données sont aussi disponibles sur l'évolution récente de la région. Elles montrent que l'évolution, au sens général, du lac Alaotra s'est accélérée au cours des dernières années. L'oblitération de la cuvette du lac est due en grande partie à deux causes qui contribuent toutes deux à augmenter les apports étrangers allochtones qui emplissent cette cuvette.

L'érosion qui sévit en saison de pluies sur les pentes des deux falaises délimitant la plaine du lac Alaotra est très importante. De plus, elle a augmenté ces dernières années en raison des déboisements massifs, eux-mêmes consécutifs à la généralisation de la pratique des feux de brousse. Ces derniers sont allumés essentiellement pour permettre aux boeufs de pâturer les jeunes pousses qui colonisent la zone incendiée; le surplus de matériaux arrachés aux collines vient augmenter les sédiments tapissant le fond du lac et relever ainsi le niveau du plan d'eau.

Depuis 1961, des travaux importants d'hydraulique ont été réalisés pour permettre aux populations de mettre en valeur les marais bordant l'Ouest du lac et les remplacer par des rizières irriguées. Ces marais recouvraient une surface de 55 000 ha en 1961 (Thérézien 1963); ils ne s'étendaient plus que sur 30 000 ha en 1976. Beaucoup de sédiments qui, autrefois, se déposaient dans ces marais et n'atteignaient pas ainsi le lac proprement dit y parviennent maintenant, accélérant ainsi le processus de comblement de ce dernier et de relèvement du niveau du plan d'eau (fig. 9.5).

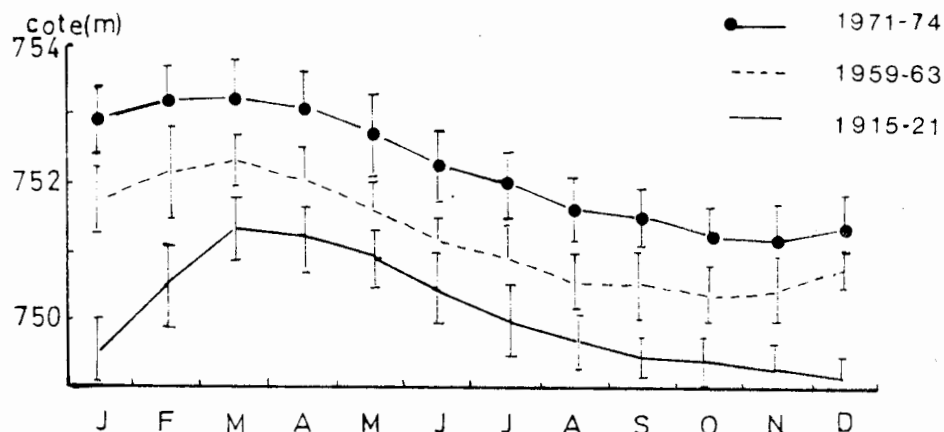


Fig. 9.5 Variations cycliques annuelles de la cote du lac Alaotra

5. Climat (v. fig. 9.3)

Amw₆a (Köppen)

2 saisons principales: 1 saison sèche fraîche; 1 saison pluvieuse chaude.

Insolation:

Moy. ann.: 2300-2350 h.année⁻¹

Max. en novembre (env. 260 h), min. en février-mars (env. 170 h).

Pluviométrie:

Moy. ann.: 1169 mm

Max. en décembre (env. 295 mm) et janvier (env. 290 mm).

Durée moy. de la saison sèche: 220 jours.

Température de l'air:

Moy. ann.: 20,6°C.

Max. en janvier (moy. vraie env. 23,4°C; moy. max. journ. 28,4°C; moy. min. journ. 18,2°C).

Min. en juillet (moy. vraie 14,8°C; moy. max. journ. 22,8°C; moy. min. journ. 11,1°C).

Le lac Alaotra reçoit un ensoleillement relativement faible (6,50 heures en moyenne par jour) et des pluies abondantes sur les falaises latérales. Le lac lui-même ne reçoit que 1170 mm d'eau en moyenne, par an, répartis sur 110 journées concentrées essentiellement de novembre à février. Cette faible pluviométrie s'explique par la nature des vents qui sévissent sur la cuvette et qui sont du type Foehn; ces vents descendant dans la cuvette ont perdu leur humidité sous le versant exposé au vent.

La température moyenne annuelle de l'air est de 20,6°C; les maximums absolus enregistrés en été sont de l'ordre de 33°C et les minimums absolus hivernaux sont inférieurs à 10°C. Il existe donc une saison fraîche assez marquée.

La cuvette est soumise à des vents très fréquents qui brassent la totalité des eaux du lac. Ces vents sont de dominance Nord-Est. On note rarement des vents en provenance du Sud; ces différents vents soufflent essentiellement le jour.

6. Caractéristiques physiques et chimiques (Tableau 9.1)

Le fond du lac Alaotra est très plat et la profondeur moyenne du lac est de 1 m en étiage et 2,5 m en crue; la profondeur maximale étant alors de 4 mètres. Ce fond est essentiellement constitué de vase et de boues et présente des affleurements sableux au Nord et à l'Est.

Les eaux sont très troubles (cf. plus haut), neutres ou légèrement alcalines, peu riches en oxygène en profondeur, assez peu minéralisées, mais relativement riches en phosphore.

7. Flore et faune

Cyperus madagascariensis, Cyperus imeriniensis et Phragmites spp. constituent l'essentiel de la végétation des marais limitrophes. Eichhornia crassipes dérive sur le lac en suivant les courants et encombre les chenaux parcourant les marais. Il est en régression depuis 20 ans. Les pêcheurs pensent que ceci est lié à l'introduction de Tilapia en 1955. Les crues du lac Alaotra recouvrent, de plus, d'importantes prairies à graminées qui servent alors de pâture à ces Cichlidés herbivores. En période d'étiage, les prairies ainsi exondées

Tableau 9.1 Caractéristiques du lac Alaotra

Paramètres	Valeur
Superficie	220 km ²
Cote moyenne	752,5 m
Nature du fond	vase meuble, dépôts d'érosion, sable au Nord
<u>Facteurs physiques</u>	
Couleur de l'eau	brun-rouge
Profondeur maximale	4 m
T en surface (°C)	20,5 à 28
Stratification thermique	non
Transparence (m)	0,25 à 0,70
pH 6,8 à 7,3	
T.A.C. (meq/l)	0,45 à 0,70
Conductivité (10 ⁻⁶ S.cm ⁻¹)	80 à 250
Extrait sec (mg/l)	140 à 270
<u>Facteurs chimiques</u>	
Oxygène, % saturation: surface	100
fond	minimum 30
M.O. milieu acide (mg/l)	1,6 à 21,7
alcalin (mg/l)	0,4 à 1,6
Dureté totale	6,8 à 8,2
Anions (mg/l)	
P	0,30
NH ₄ +	0,20
NO ₃ -	0,70
SO ₄ --	0,01
CO ₂ total	30,0
Cl ⁻	2,1
SiO ₂	0,5
Cations	
Na ⁺	1,30
K ⁺	1,90
Ca ⁺⁺	2,80
Mg ⁺⁺	1,20
Fer	0,35 à 1,50
<u>Facteurs biologiques</u>	
Quantité totale de plancton	6 à 25 cm ³ /m ³
Nombre de genres: Phytoplancton	
Cyanophycées	3
Chlorophycées	10
Desmidiées	3
Bacillariophycées	7
Euglénophycées	2
Chrysophycées	1
Total	26
Zooplancton et benthos	
Nombre de genres identifiés	10
Non identifiés	oui

sont recherchées par les troupeaux de bovins et sont parfois aménagées en rizières de décrues.

Le phytoplancton est peu diversifié et composé en majorité de Cyanophycées. Le benthos est riche en Nématodes, Turbellariés, Gastrotriches, Tardigrades. Il est pauvre en mollusques (Bulinus marie et Lymnaea hovorum) et en crustacés (Caridina sp. et Hydrotelphusa sp.). En revanche, les larves d'insectes sont abondantes.

Les poissons présents au lac Alaotra sont:

Espèces autochtones:

Anguillidés	<u>Anguilla mossambica</u> , <u>A. marmorata</u> (anguille marbrée, très rare);
Atherinidés	<u>Rheocles alaotrensis</u> ;
Cichlidés	<u>Paratilapia poleni</u> ("Marakely");
Eleotridés	<u>Eleotris legendrei</u> .

Espèces introduites:

Centrarchidés	<u>Micropterus salmoides</u> (Black-bass) introduit en 1961;
Cichlidés	<u>Tilapia rendalli</u> , introduit en 1955; <u>Oreochromis macrochir</u> , introduit en 1958; <u>O. niloticus</u> , introduit en 1960; <u>O. mossambicus</u> , introduit en 1960.
Cyprinidés	<u>Carassius auratus</u> , introduit au début du siècle; <u>Cyprinus carpio</u> , introduit en 1926.
Cyprinodontidés	<u>Gambusia holbrooki</u> , introduit en 1940.

8. Activités humaines

L'agriculture est très développée (riz) et le lac est bordé de 5 agglomérations de 2000 h. environ chacune ainsi que de nombreux villages de pêcheurs; rizeries et féculeries sont les seules industries.

La production piscicole est d'environ 2200 tonnes. Il existe 1200 pêcheurs professionnels.

En 1976, les pourcentages des différentes espèces dans la production exploitée ont été les suivants pour l'ensemble de l'année:

	% en nombre	% en poids
<u>O. macrochir</u>	50	48
<u>T. rendalli</u>	18	16
<u>O. niloticus</u>	7	9
<u>O. mossambicus</u>	0.5	0.5
<u>Cyprinus carpio</u>	19	20
<u>Micropterus salmoides</u>	5	6
Espèces autochtones	0.5	0.5

En résumé, le lac Alaotra est très peu profond, peu minéralisé, peu oxygéné par temps calme en profondeur. Le phytoplancton est essentiellement constitué de Cyanophycées; il est peu diversifié comme le zooplancton et le benthos. Le lac est bordé par un immense marais et

des prairies à graminées immergées une partie de l'année; il est peuplé en majorité de *Tilapia* et *Oreochromis*. L'histoire du lac a été marquée ces dernières années par une véritable pollution mécanique due en grande partie à l'intervention humaine.

9.1.b LAC KINKONY

1. Géographie

Localisation (fig. 9.6): Le lac Kinkony ($17^{\circ}9'$ à $18^{\circ}04'$ latitude S et $48^{\circ}15'$ à $48^{\circ}46'$ longitude E) est le second lac de Madagascar par la superficie. La surface libre du plan d'eau est de 149 km^2 en crue et 100 km^2 en étiage.

Le lac Kinkony se trouve dans la cours inférieur du fleuve Mahavavy qui, dans cette région, comporte d'autres lacs; les deux plus importants étant: le lac Kamonjy : 535 km^2 ; altitude: 8 m.

le lac Katondra: 487 km^2 ; altitude: 8 m.

L'alimentation en eau de tout le bassin du lac Kinkony se fait donc grâce au fleuve Mahavavy dont le bassin versant couvre $12\,000 \text{ km}^2$ et à ses affluents; l'élévation du niveau de l'eau lors de l'arrivée des crues étant de 4 à 8 m selon les années. Les différents plans d'eau de la région communiquent alors par des chenaux et les marais contigus à chaque plan d'eau se trouvent inondés. Le lac Kinkony fonctionne comme un lac endoréique.

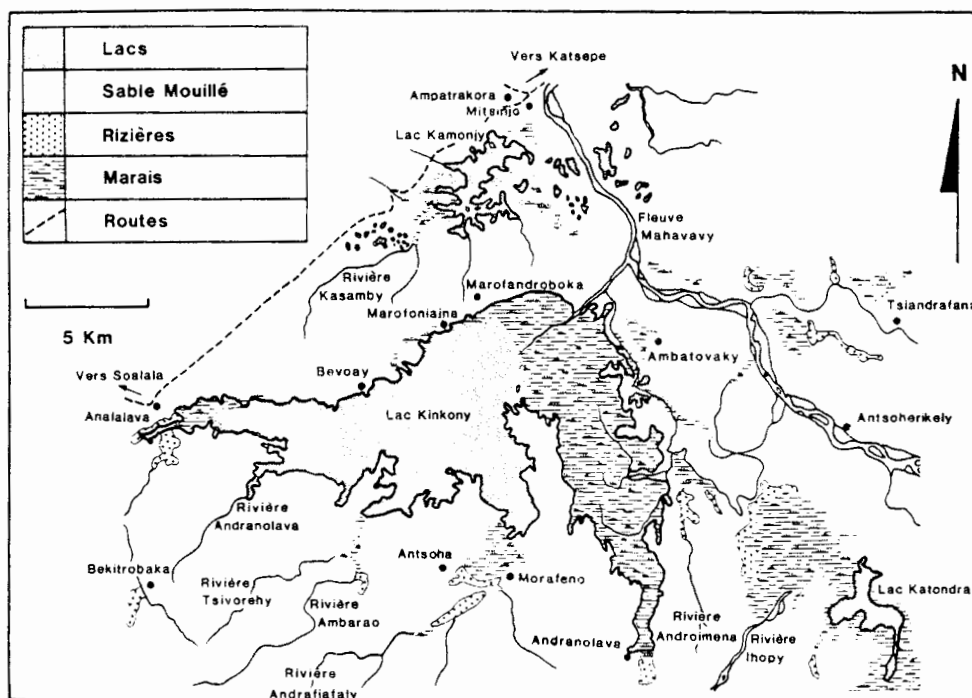


Fig. 9.6 Lac Kinkony (9.1.b)

2. Géologie

Le sous-sol du bassin du lac Kinkony est calcaire dans pratiquement sa totalité. Au sud de cette plaines, se trouve un plateau gréseux à environ 150 m d'altitude appelé "Plateau du Kinkony" par les géographes. Au point de vue pédologique, on rencontre dans la plaine d'inondation du lac Kinkony, 4 types de sols: les alluvions et limons fluviatiles, les terres rouges latéritiques sur basalte, les terres rouges argileuses sur calcaire.

Le lac Kinkony est un lac naturel de barrage créé par alluvionnement; des dépôts d'alluvions par le fleuve Mahavavy ont conduit à l'isolement d'un grand méandre de ce même fleuve et, de là, à la création du lac.

3. Climat (voir fig. 9.3, Namakia)

Am_{wg}a (Köppen)

2 saisons principales: saison sèche chaude; saison pluvieuse chaude.

Insolation:

Moy. ann.: 3300 - 3500 h. année⁻¹

Max. en août (env. 400 h); min. en janvier (env. 280 h).

Pluviométrie:

Moy. ann.: 1550 mm

Max. en janvier (env. 500 mm) et février (env. 400 mm)

Durée moy. de la saison sèche: 210 jours.

Evaporation:

Evapotranspiration potentielle gazon: moy. ann. 1100 mm.

Evapotranspiration réelle gazon: moy. ann. 950 mm.

Température de l'air:

Moy. ann.: 26 à 28°C

Max. en novembre (moy. vraie env. 28°C; moy. max. journ. 37°C;

Moy. min. journ. 23°C).

Min. en juillet (moy. vraie 23°C; moy. max. journ. 30°C;

Moy. min. journ. 16°C).

Le climat peut être résumé ainsi: une longue saison sèche d'avril à novembre et une courte saison de pluie de décembre à mars. 1500 mm d'eau tombent alors en 70 à 80 jours, le plus souvent sous forme de violentes pluies d'orage. La température minimale de l'air varie de 16 à 23°C et la température maximale de 30 à 40°C.

La saison des pluies durant peu de temps, les crues sont elles-mêmes brèves.

4. Caractères physico-chimiques du lac Kinkony:

En étiage, les profondeurs maximales observées sont de 3,5 à 4 m.

Les eaux sont toujours chaudes (24 à 33°C) et le lac ne présente pas de stratification thermique.

Chimie: (voir tableau 9.2)

Tableau 9.2: Caractéristiques chimiques de l'eau du lac Kinkony

pH	6,7 à 8,3
Extrait sec (mg/l)	250 à 5000
Conductivité (18°) 10^{-6} S.cm ⁻¹	300 à 420
Alcalinité totale	1 à 3
Mat. org. (mil. acide)	0,5 à 4,3
Mat. org. (mil. alcalin)	1,8 à 2,5
NaCl (mg/l)	17 à 42
P	traces
NO ₂	traces
NO ₃	traces
NH ₄	traces
Ca (mg/l)	11 à 30
Mg (mg/l)	7 à 8
Na (mg/l)	10,7
Cl (mg/l)	---
SO ₄ (mg/l)	10 à 12
Fer (mg/l)	0,8 à 1,1
HCO ₃ (mg/l)	135 environ

Les pH de 6,7 à 8,3 et les S.B.V. de 1,1 à 2,9 peuvent expliquer une densité de végétation élevée (avant sa destruction par Tilapia) et une forte production primaire.

5. Flore

Les végétaux supérieurs aquatiques sont: Phragmites communis, Nymphaea lotus et N. stellata, Ceratophyllum sp., Eichhornia crassipes très abondants. Il faut citer aussi: Potamogeton sp., Jussiaea sp., Polygonum sp., Najas australis, Pistia stratiotes, Salvinia natans, Utricularia vulgaris. On pense que l'introduction de Tilapia phytophage a fait régresser cet herbier.

Plusieurs récoltes de plancton et de benthos faites tant au milieu du lac, en pleine eau, que dans les zones littorales ou dans le vaste herbier à Nymphaea qui existait, il y encore quelques années, ont révélé un phytoplancton et un zooplancton assez riches et variés, où dominent les Cyanophycées et les Chlorophycées. Le phytoplancton comprend environ 30 genres identifiés.

6. Invertébrés

Le zooplancton et le benthos comportent les organismes habituels:

Protozoaires (10 genres identifiés), Nématodes, Turbellariés, Gastrotriches, Tardigrades, Rotifères (6 genres), Crustacés dont Cyclostheria hislopi dont on signale la nette diminution pour des raisons inconnues, Hydracariens.

Le lac Kinkony comporte aussi d'abondants crustacés des genres Caridina, Macrobranchium, Hydrotelphusa, ainsi qu'une grande variété de familles d'insectes; on peut citer: Cybister, Gyrinus parmi les Coléoptères; Nepa, Ranatra, Plea, Velia, Microvelia, Belostoma, Naucoris parmi les Hémiptères; les Tipulinae, Culicinae, Chironominae, Tanipodinae parmi les Diptères.

Sur les rivages sablonneux du lac courent de nombreux staphylins carnivores.

Les mollusques sont représentés par Bulinus sp. et Lymnaea hovarum. Le lac Kinkony est dans une zone où la bilharziose est fréquente.

7. Poissons

La liste des poissons autochtones est la suivante:

Carcharinidés	<u>Carcharinus</u> cf. <u>leucas</u>
Pristidés	<u>Pristis</u> <u>microdon</u>
Elopidés	<u>Megalops</u> <u>cyprinoides</u>
Elopidés	<u>Elops</u> <u>machnata</u>
Dussumiérédés	<u>Pellonulops</u> <u>madagascariensis</u>
Chanidés	<u>Chanos</u> <u>chanos</u>
Bagridés	<u>Arius</u> <u>madagascariensis</u>
Anguillidés	<u>Anguilla</u> <u>marmorata</u>
Anguillidés	<u>Anguilla</u> <u>australis</u>
Cyprinodontidés	<u>Pachypanchas</u> <u>homalonotus</u>
Mugilidés	<u>Liza</u> <u>macrolepis</u>
Mugilidés	<u>Mugil</u> <u>robustus</u>
Serranidés	<u>Ambassis</u> <u>commersoni</u>
Serranidés	<u>Ambassis</u> <u>kopsi</u>
Serranidés	<u>Kuhlia</u> <u>rupestris</u>
Serranidés	<u>Therapon</u> <u>jarbua</u>
Lutjanidés	<u>Lutianus</u> <u>argentimaculatus</u>
Leiognathidés	<u>Leiognathus</u> <u>equula</u>
Leiognathidés	<u>Gerres</u> <u>punctatus</u>
Latilidés	<u>Sillago</u> <u>sihama</u>
Carangidés	<u>Caranx</u> sp.
Chaetodontidés	<u>Scatophagus</u> <u>tetracanthus</u>
Cichlidés	<u>Paretroplus</u> <u>petiti</u>
Cichlidés	<u>Paretroplus</u> <u>kieneri</u>
Gobiidés	<u>Gobius</u> <u>giuris</u>
Eléotridés	<u>Eleotris</u> <u>fusca</u>

Les espèces suivantes ont été introduites: Carassius auratus, Tilapia rendalli et Oreochromis macrochir.

8. Autres vertébrés

Il est fait état également de nombreux reptiles et batraciens et d'une

faune avicole très diversifiée (39 espèces identifiées). Il faut signaler notamment Haliaetus vocifer, aigle pêcheur se nourrissant semble-t-il de tortues (Therezien 1966).

9. Activités humaines

La zone du lac Kinkony est très peu habitée et seulement par des paysans. Les pêcheurs professionnels exerceraient leur activité au lac Kinkony en plus de leurs travaux agricoles dominés par la riziculture et la culture du coton très importante dans la région. La production piscicole exploitée serait en ce moment de 700 t, les espèces dominantes étant Megalops cyprinoides, Arius madagascariensis et Oreochromis macrochir.

9.1.c LAC IHOTRY ET LAC NAMONTY

1. Géographie et morphométrie

Le lac Ihotry ($21^{\circ}50'S$, $43^{\circ}30'E$) et le lac Namonty ($6,53 \text{ km}^2$) sont situés dans une vaste cuvette au centre de la région dite du Bas Mangoky (Figure 9.7).

La superficie en hautes eaux est de $94,15 \text{ km}^2$ à la cote 48 m et celle à l'étiage de $8,65 \text{ km}^2$ à la cote 45,50. Le rivage marin à 30 km à l'W est séparé du lac par un barrage de dunes anciennes.

Seul le lac Ihotry sera étudié ici.

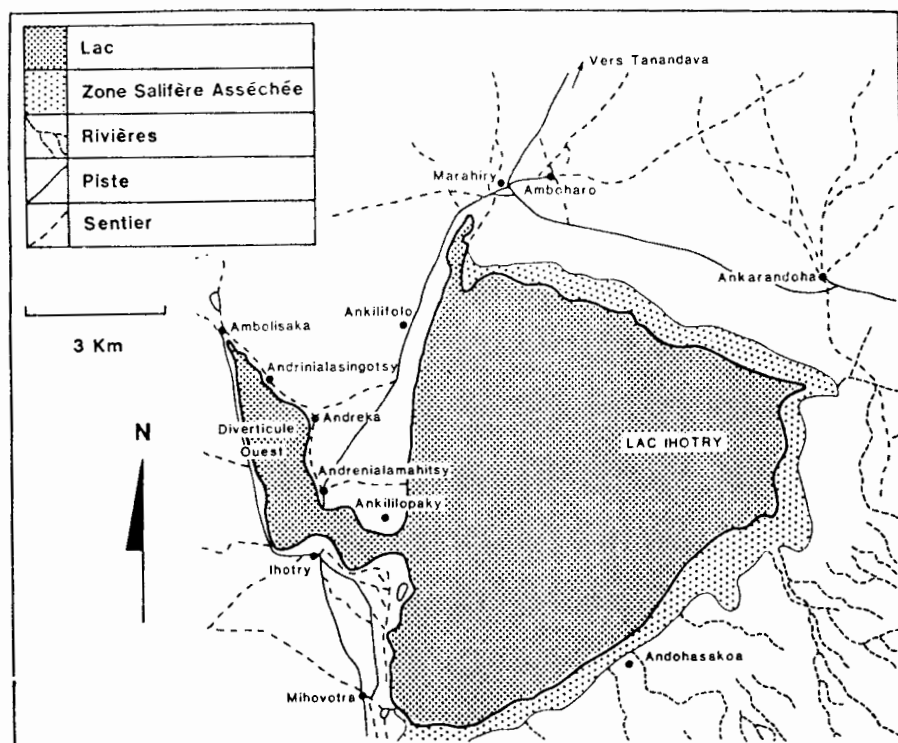


Fig. 9.7 Lac Ihotry (9.1.c)

2. Géologie et pédologie

Le lac s'est formé, en arrière du barrage dunaire, sur une zone légèrement synclinale ou tectoniquement abaissée, déterminant un bassin artésien dont la nappe s'alimente à l'E dans les calcaires éocènes, et se forme sous les sables roux quaternaires. Ceux-ci, épais d'une cinquantaine de mètres, superposés à des calcaires marneux éocènes, sont souvent imprégnés d'eau formant une nappe secondaire mal alimentée.

La dépression du lac lui-même, sur sol argilo-calcaire recouvert de sédiments vaseux récents, comprend deux parties. La première constitue le diverticule W, seul constamment en eau et n'occupant que 865 ha; la seconde vaste zone centrale (type sebkra) n'est complètement inondée qu'en fin de saison des pluies, généralement en mars et s'étend alors sur 8750 ha. L'alimentation du lac se fait donc d'une part, par des résurgences dans le diverticule W permanent, d'autre part et par intermittence, en saison des pluies, par la rivière Befandriana et une série de petites rivières parallèles, suivant la pente NW qui est approximativement celle des couches géologiques (Segalen et Moureaux 1948). Le lac Ihotry est un lac endoréïque.

3. Climat

BSmw₆ (Köppen)

2 saisons principales: saison sèche chaude, saison pluvieuse chaude.

Insolation:

Moy. ann.: 3700-3800 h. année⁻¹

Max. en août (env. 400 h), min. en janvier (env. 280 h).

Pluviométrie:

Moy. ann.: 455 mm

Max. en janvier (env. 120 mm) et février (env. 160 mm)

Durée moy. de la saison sèche: 260 jours.

Evaporation:

Evapotranspiration potentielle gazon: moy. ann. 1565 mm

Evapotranspiration réelle gazon: moy. ann. 455 mm.

Température de l'air:

Moy. ann.: 24,3°C

Max. en novembre (moy. vraie env. 31,2°C; moy. max. journ. 38,3°C;
moy. min. journ. 23,2°C).

Min. en juillet (moy. vraie 17,5°C; moy. max. journ. 24,5°C;
moy. min. journ. 11,5°C).

Le climat se caractérise par des fortes chaleurs (40°C en janvier-février) et une courte saison de pluies qui dure du 1er décembre à la fin février. Il faut ajouter à cela quelques orages à caractère très local en octobre et novembre. La saison fraîche dure de mai à début septembre. La température peut alors tomber la nuit à 15°C.

4. Hydrologie

D'après les habitants de la région, le lac n'est à sec que très exceptionnellement. La dernière sécheresse connue remonterait à 1927 (Petit 1930).

Vu les reliefs existants, le lac ne reçoit pas d'eau du Mangoky, grand fleuve coulant à 30 km au N.

Le régime hydrologique est lié au système des dépressions tropicales, avec saison des pluies commençant en décembre et s'achevant fin février.

L'évolution cyclique annuelle du lac est décrite ci-après: En fin de saison des pluies (1^{er} mars), le lac est entièrement plein (sa profondeur maximale est de 3,80 m dans le diverticule W alors qu'elle atteint 2,50 m dans le grand plan d'eau). En juillet, dans le diverticule W, l'eau s'est retirée sur environ 100 m par rapport à sa position au niveau maximum et la profondeur a diminué de 1,50 m. Dans le grand plan d'eau, l'eau peut se retirer sur 1,5 km, en particulier à l'E; l'eau y est très boueuse, la profondeur n'excède pas 0,70 m. Plus tard dans la saison, le lac s'assèche encore et l'eau ne subsiste que dans le diverticule W.

5. Caractéristiques physiques et chimiques (voir tableau 9.3)

- a) La forte salinité: les eaux sont connues comme pouvant atteindre des salinités supérieures à celle de la mer, aux périodes de fortes concentrations, pendant l'étiage. La plus forte chlorinité notée, qui n'est certainement pas le maximum réel possible, a été de 21 g/l. Les eaux sont au contraire très adoucies lorsque le lac est à sa cote maximale: la teneur en chlore est alors seulement de 1,3 g/l.

La salinité du lac Ihotry n'est pas d'origine marine. Les sels dissous sont apportés par les eaux continentales, concentrés dans la cuvette, par un bilan déficitaire de l'apport (nappes, ruisseaux et précipitations) sur l'évaporation. Les eaux du lac acquièrent leur composition propre, d'ailleurs variable selon les périodes. Mais par rapport à des eaux saumâtres d'origine marine, elles demeurent nettement caractérisées par une teneur relativement faible en Cl et des teneurs plus fortes en SO_4 et voisines en Ca (Tableau 9.3). Ces teneurs en Ca analogues à celles des eaux littorales lagunaires constituent l'élément le plus caractéristique. La richesse en SO_4 est au contraire un phénomène beaucoup plus général, observé également dans les étangs saumâtres littoraux, en raison du confinement des milieux.

- b) Les autres paramètres observés

Des analyses d'eau effectuées à une époque où le lac se trouvait à une cote intermédiaire entre la crue et l'étiage (v. tableau 9.4) ont révélé une turbidité très importante, surtout dans le lac lui-même où le disque de Secchi disparaît à 25 cm de profondeur; le caractère alcalin de l'eau (pH 7,6; alcalinité totale comprise entre 1,8 et 2,5 ml/l); la teneur élevée en NH_4 (0,5 à 2 mg/l) et en P (1,5 mg/l); la faible teneur en oxygène (4,5 à 9,2 mg/l) qui

Tableau 9.3: Compositions ioniques comparées du lac Ihotry et de l'eau de mer (g/l)

	Cl	Na	SO ₄	Mg	Ca	K	HCO ₃
Eau de mer moyenne	18,980	10,556	2,650	1,272	0,400	0,380	0,140
Lac Ihotry							
Octobre	21,000	12,900	7,900	1,250	1,900	(-)	0,110
Juillet	7,062	4,200	1,642	0,375	0,382	0,090	0,168
Mars	1,464	0,975	0,767	0,095	0,232	0,036	0,128
Moy.15 éch.	5,952	3,617	1,736	0,374	0,522	0,098	0,166

Tableau 9.4: Paramètres physico-chimiques du lac Ihotry mesurés en septembre

No. station	1 (+)	2 (+)	3 (+)	4	5	6
T° c eau	28	27	26,5	26	27	27,5
Profondeur (m)	1,80	1,70	1,00	0,80	0,70	0,60
Turbidité (m)	0,80	0,75	0,60	0,30	0,25	0,25
pH	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Alcalinité totale (meq/l)	2,5	2,5	2,5	1,8	1,8	1,8
NH ₄ (mg/l)	0,85	1,25	2,00	0,50	0,65	0,50
NO ₃ (mg/l)	traces	traces	traces	traces	traces	traces
P (mg/l)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Fe (mg/l)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
O ₂ (mg/l)	5,12	5,12	4,10	3,45	4,61	4,20
Salinité NaCl (g/l)	4,6	4,9	6,3	6,8	6,8	9,2
Conductivité (10 ⁻⁶ S.cm ⁻¹)	2000	1800	2000	2000	1900	2100
Plancton (cm ³ /m ³)	30	20	20	10	30	30

(+) Stations situées dans le diverticule W, les stations 4, 5 et 6 étant dans le plan d'eau principal.

représente néanmoins 55 à 113% de saturation (des teneurs plus faibles sont sûrement observables en l'absence de vents en eaux profondes); la conductivité élevée (2000.10⁻⁶ S.cm⁻¹).

La salinité était à l'époque relativement faible: 4,6 à 9,2 g/l NaCl soit 13 à 26% de celle de la mer. Cette salinité est plus élevée dans le plan d'eau principal que dans le diverticule W.

Naturellement, en raison du climat et du régime hydrologique, la température et la salinité présentent des variations cycliques annuelles nettes mais il n'y a pas de stratification.

6. Flore

Hors de la zone salifère sèche entourant le lac, et sur les sables, est établi un bush xérophile dégradé. Des eaux du lac jusqu'au bush, et en fonction des teneurs salines décroissantes, on trouve Chara zeylanica, Salicornia pachygastra, Cressa cretica, Arthrocnemum indicum, Sporobolus virginicus et Sclerodactylon macrostachyum, celui-ci à la limite de la zone halophile, le bush étant au delà.

Ces divers groupements sont le plus souvent monophytiques, formant des ceintures bien individualisées, souvent séparées par des espaces nus de sable ou de limon. Les peuplements mixtes sont rares, présentant alors une large dominance d'une espèce sur l'autre ou sur les autres.

7. Invertébrés

Les invertébrés ont été étudiés par Mars et Richard-Vindard (1972) à la suite de prélèvements à différentes époques de l'année. Le lac Ihotry se caractérise par sa relative pauvreté. En basses eaux, le fond est tapissé pratiquement uniquement de coléoptères. En hautes eaux, les rives envahies sont un peu plus riches en espèces aquatiques: Gastéropodes (dont Planorbis), Coléoptères (dont Dytiscidés), Libellulidés (larves), Notonectes et Naucorés.

8. Poissons

Le peuplement piscicole est composé d'une seule espèce introduite : Tilapia rendalli, habituellement dulçaquicole stricte, présentant dans ce lac une intéressante adaptation à de très fortes salinités rendue possible, semble-t-il, par la composition ionique du milieu. La production maximale équilibrée est évaluée à 153 t.

9. Autres vertébrés

La région du lac Ihotry et du lac Namonty est caractérisée par une très riche avifaune aquatique et terrestre donnant lieu à une certaine activité de chasse à laquelle échappe, en principe, une nombreuse colonie de flamants roses, Phoeniconaias minor tolérant relativement bien la salinité des eaux. Un projet de parc national sur la région a été abandonné.

9.1.d LAC ITASY

1. Géographie (fig. 9.8)

Le lac Itasy est un lac de barrage volcanique d'une superficie de 35 km²; il se situe à 135 km à l'W de Tananarive, par 19°7' S et 46°45' E. Sa cote moyenne est à 1221 m, avec des variations de 1,25 à 1,50 m au total, en année de pluviométrie normale.

Le lac Itasy a été autrefois deux à trois fois plus étendu que

maintenant mais ses parties orientales et méridionales ont été colmatées par les apports alluvionnaires de différentes rivières qui l'alimentent; en effet, le lac reçoit à son extrémité E une rivière de faible importance: l'Andranomena qui parvient dans le lac à travers des marais à Cyperus madagascariensis et à Eichhornia crassipes. Sur sa rive S, le lac reçoit deux autres rivières: la Matiandrano et la Fitandambo qui aboutissent également dans le lac en traversant un grand marais.

Le niveau actuel du lac est inférieur à son niveau primitif de 25 m environ. Cet abaissement est vraisemblablement dû à l'entaille, par la rivière Lily, actuel exutoire du lac, du seuil rocheux servant maintenant de déversoir. La Lily prend naissance près d'Ampefy, au NW du lac et rejoint la Sakay, affluent de la Tsiribihina, qui se jette dans le canal de Mozambique.

Le lac est entouré de reliefs aux formes arrondies, caractéristiques des massifs anciens, et les bords sont en général assez abrupts, sauf, cependant, aux endroits où les grands marécages sont contigus au lac (marais de Fitandambo au S, de Maratsiazao à l'W). En outre, le lac est bordé à l'W par un massif volcanique (voir plus loin). L'ensemble de ces reliefs est dépourvu de végétation en dehors de graminées servant de pâture aux boeufs et brûlées en fin de saison sèche.

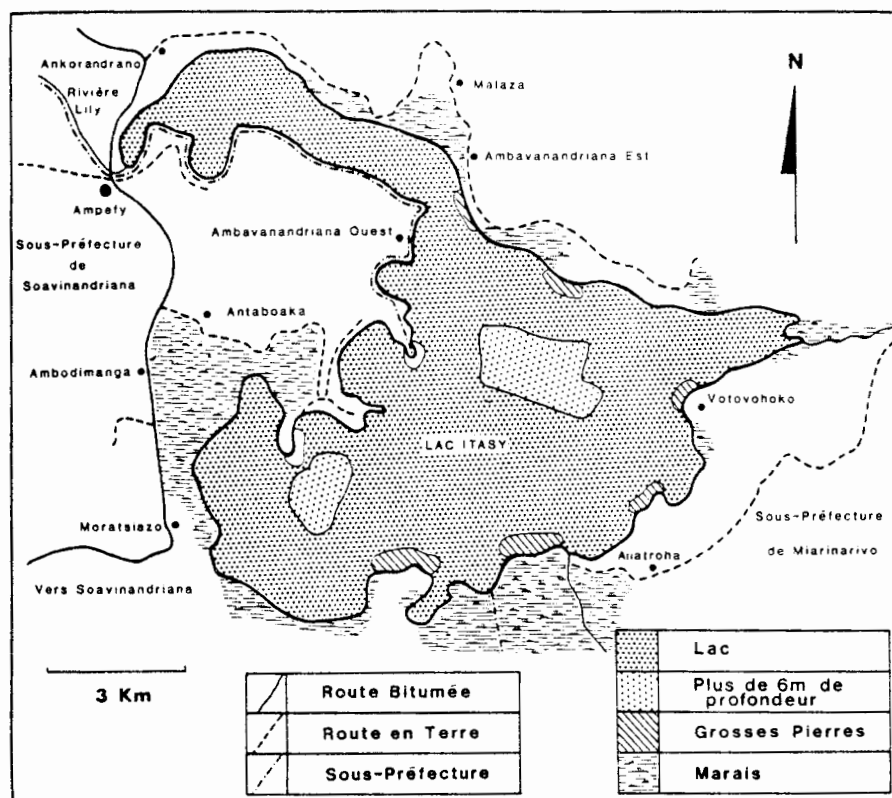


Fig. 9.8 Lac Itasy (9.1.d)

2. Géologie

Le lac Itasy est situé sur des terrains cristallins anciens du Précambrien. Ces derniers sont essentiellement constitués de gneiss et de granits stratoïdes de la série du graphite. Immédiatement à l'W du lac, et venant même à son contact dans la région de Moratsiazo, se trouve le massif volcanique de l'Itasy qui ressemble beaucoup à celui de la chaîne des Puys, dans le Massif Central français. Il date de l'ère quaternaire et s'allonge sur 30 km environ du N au S. Il présente encore toute une série de formes volcaniques jeunes et très caractéristiques. Ce massif, en venant se surimposer à une ancienne topographie, a barré le cours de trois rivières qui s'écoulent vers l'W et c'est le barrage de l'une de ces rivières, la Lily, qui a créé le lac volcanique de retenue qu'est l'Itasy.

3. Pédologie

Les terrains cristallins anciens portent des sols ferrallitiques rouges, lessivés et acides. Ceux-ci sont peu évolués et limoneux sur les fortes pentes; ils sont rajeunis et plus ou moins argileux sur les terrains disséqués de l'ancienne surface d'érosion de Miarinarivo qui recouvre la région NE du lac (Bourgeat 1972). Sur la bordure de cette ancienne surface, les zones d'érosion ou "lavaka" sont peu nombreuses mais tout de même susceptibles de livrer des matériaux limoneux.

La partie occidentale du bassin du lac, bordée de reliefs volcaniques déjà évoqués, est couverte de sols "andos" riches au point de vue chimique et également en matière organique. Ces sols sont peu susceptibles d'érosion lorsqu'ils sont maintenus sous leur couvert graminéen très dense. Il n'en est pas de même lorsque la pratique des feux de brousse, régulière en fin de saison sèche, détruit la couverture végétale.

En dehors des reliefs volcaniques, des projections ont recouvert une paléotopographie ancienne et des sols bruns andos fossilisent des sols rouges ferrallitiques formés sur socle ancien.

Bien que ces sols andos soient plus rares à l'E qu'à l'W du lac, il est possible qu'une mince couche de cendres se soit déposée dans le lac lui-même au moment des éruptions.

Au centre de la dépression, dans le lac Itasy lui-même, le sol est constitué de sédiments peu riches en matière organique car il n'y a pas et il n'y a pas eu de développement d'une végétation aquatique, contrairement à ce qui survient au lac Alaotra. Sur les rivages du lac, des sols marécageux (sols hydromorphes, moyennement acides à gley) se sont individualisés sous une végétation de Cypéracées. Cette dernière est maintenant en nette régression à la suite des défrichements et de la mise en rizière.

4. Climat

BSmw₄a (Köppen, figure 9.3)

Le climat de la région du lac Itasy et plus spécialement celui

d'Analavory, chef-lieu de canton situé au NW du lac, est caractérisé par une pluviométrie de l'ordre de 1500 mm, dont 1300 mm tombent en moyenne en 78 jours se répartissant sur les mois de novembre, décembre, janvier, février et mars. Les pluies ont surtout lieu sous forme d'orages violents; la petite pluie fine et continue sur une journée est très rare. Les journées ensoleillées sont, en revanche, fréquentes. Il s'agit du climat des Hauts Plateaux avec influence de la côte W.

Saisons:

2 saisons principales: saison sèche froide; saison pluvieuse chaude.

Insolation:

Moy. ann.: 2700-2800 h. année⁻¹

Max. en octobre (env. 280 h), min. en janvier (env. 190 h).

Pluviométrie:

Moy. ann.: 1500 mm

Max. en janvier (env. 320 mm) et février (env. 300 mm)

Durée moy. de la saison sèche: 190 jours.

Evaporation:

Evapotranspiration potentielle gazon: moy. ann. 950 mm

Evapotranspiration réelle gazon: moy. ann. 850 mm.

Température de l'air:

Moy. ann.: 19°C

Max. en janvier (moy. vraie env. 21°C; moy. max. journ. 26,8°C; moy. min. journ. 15,2°C)

Min. en juillet (moy. vraie 15,5°C; moy. max. journ. 23,0°C; moy. min. journ. 8,4°C).

La température moyenne annuelle est de 19°C avec des moyennes mensuelles de l'ordre de 21°C en décembre (saison chaude) et de 16°C en juillet (saison froide). Les températures maxima enregistrées en décembre, janvier, février sont de l'ordre de 30°C et les températures minima sont de 6°C environ en juillet-août. Il y a donc une saison froide très nette. Il faut noter enfin que les vents dominants, quelle que soit la saison, sont les vents d'E (notamment alizés en saison fraîche).

5. Profondeur et hydrologie

Les profondeurs maximales observées sont de l'ordre de 6,50 m et se trouvent au S de ce qu'on appelle localement l'Ilot boisé. La profondeur maximale est atteinte dès le mois de février et les eaux commencent à baisser en avril, l'étiage survenant en octobre.

6. Conditions physico-chimiques (voir tableau 9.5)

Tableau 9.5: Caractéristiques du lac Itasy

Paramètres	Valeur
Superficie	35 km ²
Cote moyenne	1221 m
Nature du fond	compact, dépôts volcaniques, peu de sable
<u>Facteurs physiques</u>	
Couleur de l'eau	brun-vert
Z max. (m)	6,50
Temp. eau surface (°C)	18 à 27,5
Transparence (m)	0,85 à 1,65
pH	6,8 à 7,45
T.A.C. (meq/l)	0,40 à 0,80
Conductivité (10 ⁻⁶ S.cm ⁻¹)	65 à 105
Extrait sec (mg/l)	10 à 135
<u>Facteurs chimiques</u>	
Oxygène, % saturation:	
- surface	100
- fond	minimum: 70
Mat. org. (milieu acide)	1,4 à 21,6
Mat. org. (milieu alcalin)	0,3 à 18
Dureté totale	1,3 à 3,5
Ions (mg/l)	
P	0,8
NH ₄	0,09
NO ₃	1,50
SO ₄	0,01
CO ₂ (total)	35,0
Cl	2,3
SiO ₂	2,0
Na	5,0
K	3,5
Ca	2,3
Mg	2
Fer	0,10
<u>Facteurs biologiques</u>	
Quantité globale de plancton (cm ³ /m ³)	5,5 à 15,5
Nombre de genres dans le phytoplancton	
- Cyanophycées	7
- Chlorophycées	16
- Desmidiées	8
- Bacillariophycées	12
- Chrysophycées	1
- Euglénophycées	1
Total	45
<u>Zooplancton et benthos</u>	
Nombre de genres identifiés	15
Non identifiés	oui

7. Flore

Les végétaux aquatiques peuplant les marais limitrophes au S et à l'E du lac sont, pour l'essentiel, Cyperus madagascariensis et Phragmites spp. auxquels il faut ajouter Nymphaea stellata, Najas australis, Jussiaea spp., Polygonum spp. et Eichhornia crassipes.

La quantité globale de plancton (de 6 à 18 cm³/m³ selon l'époque de l'année) subit des variations cycliques annuelles en rapport avec celles de la température et de l'ensoleillement. Le phytoplancton est très diversifié car il comporte 45 genres identifiés parmi lesquels les Cyanophycées et les Chlorophycées sont dominantes (Moreau 1979).

8. Invertébrés

Le zooplancton et le benthos sont également très riches en espèces. Rotifères, Copépodes, Nématodes, Turbellariés, Gastrotriches, Tardigrades, Mollusques, Crustacés et Insectes aquatiques sont très abondants.

9. Poissons

Parmi les espèces peuplant le lac Itasy, certaines sont autochtones de Madagascar et d'autres ont été introduites par l'homme. La liste est la suivante:

Espèces autochtones:

Anguillidés	<u>Anguilla mossambica</u> ; <u>A. nebulosa labiata</u> (très rare)
Cichlidés	<u>Paratilapia polleni</u> (ce poisson endémique de Madagascar a été introduit au lac Itasy en 1924)
Eleotridés	<u>Eleotris legendrei</u>
Gobiidés	<u>Gobius macrorhynchus</u>

Espèces introduites:

Centrarchidés	<u>Micropterus salmoides</u> introduit en 1963
Cichlidés	<u>Tilapia rendalli</u> introduit en 1955; <u>Oreochromis niloticus</u> introduit en 1962; <u>Tilapia</u> dit "trois quarts": population hybride apparue en 1964
Cyprinides	<u>Carassius auratus</u> introduit au début du siècle; <u>Cyprinus carpio</u> introduit en 1930

10. Activités humaines

La pêche

Dans la période 1972-1977, la production exploitée variait, selon les années, entre 250 et 300 t. En 1976, la composition des captures étaient celle énoncée ci-dessous; la disparition prochaine de l'hybride et son remplacement par O. niloticus étant prévisibles à court terme.

	% en nombre	% en poids
<u>Tilapia</u> dit Trois quarts	56,2	38,8
<u>O. niloticus</u>	40	55
<u>T. rendalli</u>	0,3	0,2
<u>Cyprinus carpio</u>	2	3
<u>Micropterus salmoides</u>	1,5	3
Autres espèces	+	+

Les pêcheurs du lac Itasy sont aussi agriculteurs, vu la vocation agricole de la région due à la remarquable richesse des sols. La pêche est maximale en dehors des périodes de forte activité agricole (d'avril à novembre).

9.1.e LACS ASSOCIES AUX FLEUVES BETSIBOKA ET KAMORO

1. Géographie

Le bassin versant en question (15°30' - 17° S, 46°30' - 47°30' E) a une superficie totale de 50 000 km² (figure 9.9).

Dans leur cours inférieur, et avant leur delta, les fleuves Betsiboka et Kamoro, au NW de Madagascar, sont bordés respectivement de 65 et 80 lacs environ, de toutes superficies, regroupés pour la présente étude. Certains plans d'eau de petite surface et particulièrement peu profonds sont temporairement complètement asséchés en fin de saison sèche. L'ensemble de ces lacs, permanents ou temporaires, sont désignés, localement, sous le terme général de "matsabory"; ce mot est en usage sur toute la côte W de Madagascar.

2. Géologie

La région présente les sous-sols suivants: argile et marnes calcaires dans la partie N (la moitié de la zone concernée), calcaires et grès dans la partie centrale (environ un tiers), socle cristallin ancien au S.

3. Pédologie

Les sols sont des alluvions latéritiques récentes amenées par les différents cours d'eau lors de leurs crues et arrachées aux bassins versants dans leurs parties amont lors des pluies violentes du début de la saison pluvieuse. Certaines dépressions présentent des zones de sol hydromorphe.

4. Climat

Amw₄a (Köppen)

2 saisons principales: saison sèche chaude; saison pluvieuse chaude

Insolation:

Moy. ann.: 3500 h. année⁻¹

Max. en octobre; min. en janvier

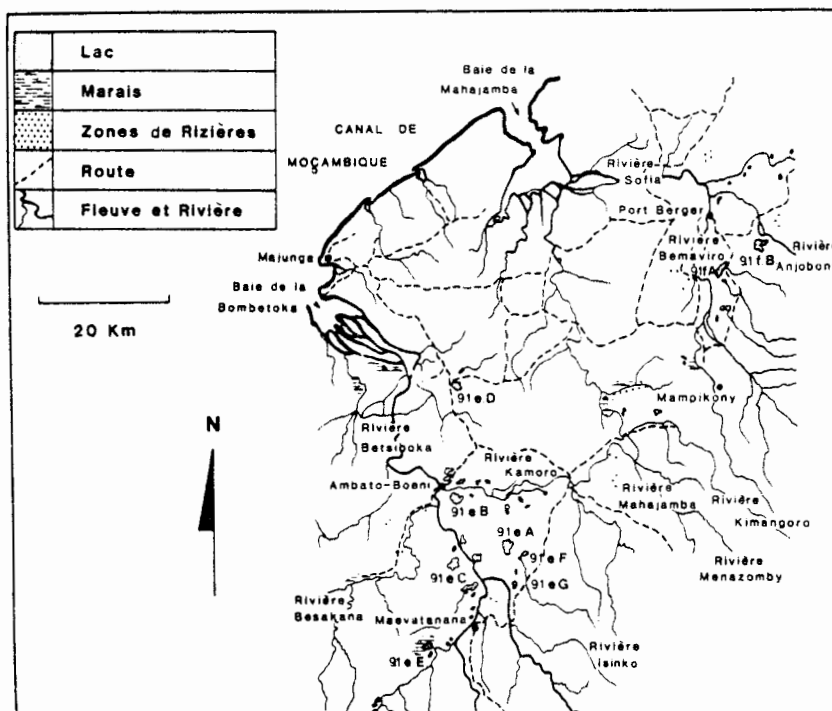


Fig. 9.9 Lacs associés aux fleuves Betsiboka et Kamoro (9.1.e) et Bemarivo (9.1.f): 9.1.e.A Lac Amparihibe-Sud, 9.1.e. B Lac Ambanja, 9.1.e.C Lac Bendrony, 9.1.e.D Lac Amboromalandy, 9.1.e.E Lac Kamotro, 9.1.e.F Lac Komadio, 9.1.e.G Lac Bekopoly; 9.1.f.A Lac Amparihibe-Nord, 9.1.f.B Lac Tseny

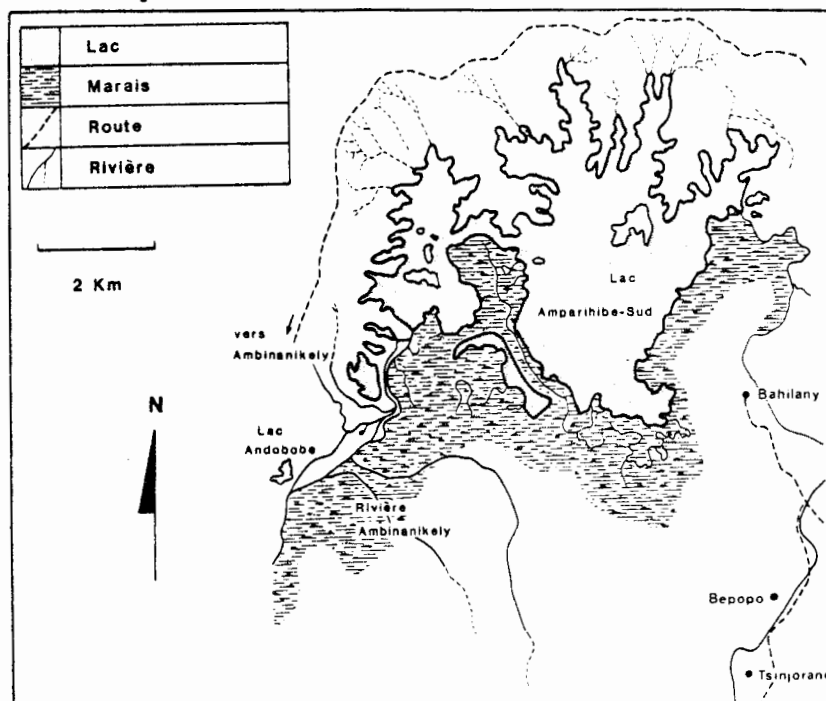


Fig. 9.10 Lac Amparihibe-Sud (9.1.f.A)

Pluviométrie:

Moy. ann.: 1650 mm

Max. en janvier (env. 550 mm) et février (env. 350 mm)

Durée moy. de la saison sèche: 260 jours

Température de l'air:

Moy. ann.: 27°C

Max. en janvier (moy. vraie env. 28°C; moy. max. journ. 35°C; moy. min. journ. 23°C)

Min. en juillet (moy. vraie 23°C; moy. max. journ. 29°C; moy. min. journ. 17°C)

Le climat est typique des régions tropicales de plaine. La saison sèche dure d'avril à novembre; les températures sont toujours élevées et peuvent dépasser 35°C. Les précipitations surviennent de décembre à mars, essentiellement sous la forme de fortes pluies d'orage.

5. Hydrologie

Le remplissage et la vidange des lacs sont sous l'étroite dépendance des crues des deux grands fleuves (novembre et surtout décembre) qui établissent des intercommunications entre les lacs et les cours d'eau. La décrue s'amorce en avril; elle s'achève en octobre. Dans les grands lacs, la différence de cote entre la crue et l'étiage peut atteindre 4 m.

Les lacs les plus importants et les plus étudiés sont:

Le lac Amparihibé-S : 6 à 12 km²; alt. 27 m (figure 9.10)

Le lac Ambanja : 7 à 10 km²; alt. 13 m (figure 9.11)

Cependant, la région comporte environ 80 km² d'eau stagnante, les autres plans d'eau les plus importants étant les suivants:

Le lac Bendrony : 5 km²; alt. 28 m (fig. 9.12);

Le lac Amboromalandy : 6,5 km²; alt. 5 m;

Le lac Kamotro : 5 km²; alt. 5 m;

Le lac Komadio : 3,34 km²; alt. 49 m;

Le lac Bekopoly : 4 km²; alt. 32 m (en fait, 4 plans d'eau en communication);

Le lac Amparihinandriana : 3 km²; alt. 63 m.

Les observations suivantes concernent les lacs Amparihibé-S et Ambanja.

6. Caractères physiques et chimiques

La température de l'eau est maximale en octobre-novembre (30 à 32°C) et minimale en juillet et août: (23 à 25°C). On connaît la composition suivante de l'eau de la Betsiboka à Ambodiroka, juste en amont du confluent avec l'Ikopa, c'est-à-dire à la sortie des plateaux cristallins.

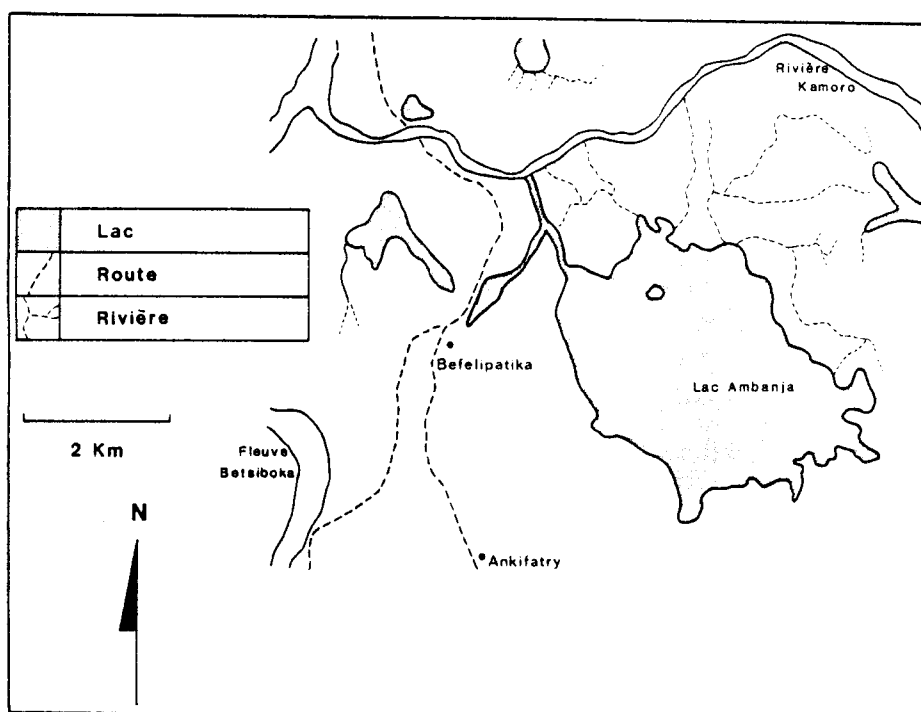


Fig. 9.11 Lac Ambanja (9.1.e.B)

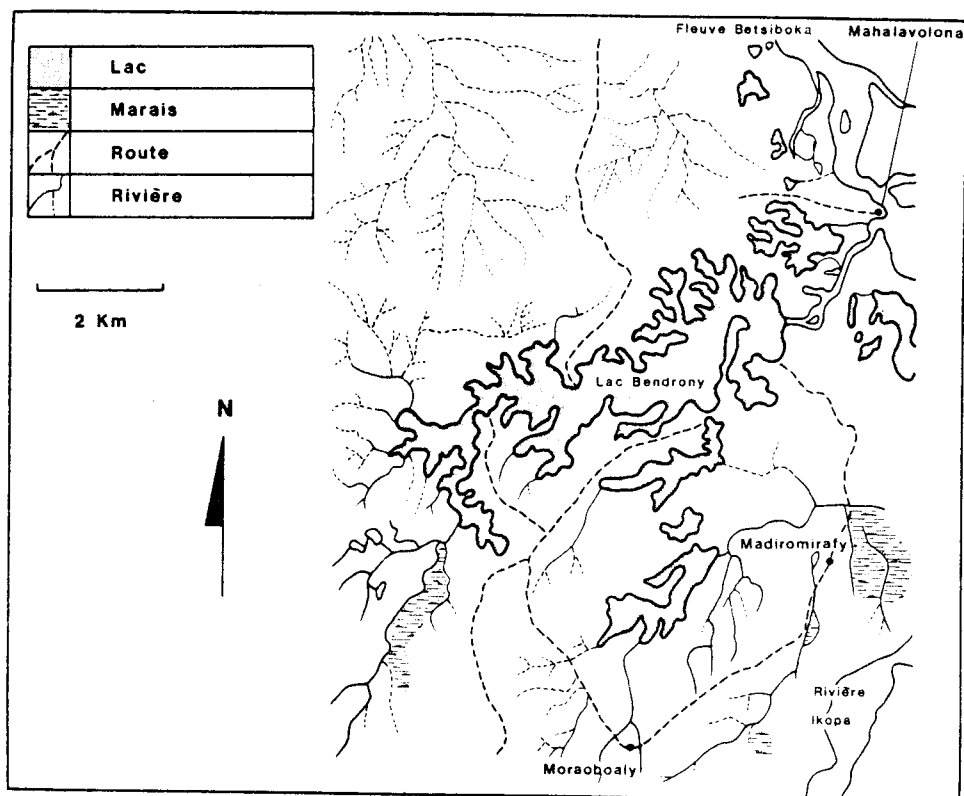


Fig. 9.12 Lac Bendrony (9.1.f.C)

pH	6,7	
Cl	2,8	mg/l
SO ₃	0,09	mg/l
SiO ₂	13	mg/l
Fe ₂ O ₃	3,5	mg/l
Al ₂ O ₃	0,2	mg/l
CaO	1,5	mg/l
MgO	4,7	mg/l
K ₂ O	2,2	mg/l
Na ₂ O	3,5	mg/l

7. Flore

Parmi les végétaux supérieurs aquatiques, Phragmites et Cyperus dominant largement, mais on trouve aussi en abondance Jussiaea sp, Polygonum sp, Eichhornia crassipes, Nymphaea stellata, Salvinia natans, Pistia stratiotes.

Le phytoplancton est très abondant mais peu diversifié, essentiellement constitué de Cyanophycées dont Microcystis. Par ailleurs, on trouve Pediastrum, Dinobryon, quelques Desmidiées et Bacillariophycées.

8. Invertébrés

Le zooplancton et le benthos sont, en revanche, assez diversifiés : 6 espèces de Protozoaires, 9 espèces de Rotifères, de nombreuses espèces de Nématodes, Turbellariés, Gastrotriches, Tardigrades, Cladocères, Copépodes, larves d'insectes. Ceux-ci sont d'ailleurs représentés par de nombreuses familles.

Il faut signaler aussi la présence de nombreux crustacés des genres Caridina, Macrobranchium, Potamon et Hydrotelphusa qui représentent une richesse potentielle réelle en cas d'exploitation.

Les mollusques sont représentés par Biomphalaria madagascariensis, Bulinus mariei, Bulinus liratius, Anisus crassilabrum, Lymnaea hovorum.

La bilharziose existe dans toute la région, surtout la bilharziose vésicale à Schistosoma haematobium, mais on signale aussi la présence de cas de bilharziose intestinale à S. mansoni.

9. Poissons

Le peuplement piscicole comporte des espèces autochtones et d'autres introduites.

Espèces autochtones:

Pristidés	<u>Pristis microdon</u>
Elopidés	<u>Megalops cyprinoides</u>
Elopidés	<u>Elops machnata</u>
Dussumiérédés	<u>Pellonulops madagascariensis</u>
Chanidés	<u>Chanos chanos</u>
Bagridés	<u>Arius madagascariensis</u>

Anguillidés	<u>Anguilla marmorata</u>
Anguillidés	<u>Anguilla australis</u>
Cyprinodontidés	<u>Pachypanchax homalonotus</u>
Mugilidés	<u>Liza macrolepis</u>
Mugilidés	<u>Mugil robustus</u>
Serranidés	<u>Ambassis commersoni</u>
Serranidés	<u>Ambassis kopsi</u>
Chaetodontidés	<u>Scatophagus tetracanthus</u>
Cichlidés	<u>Paretroplus dami</u>
Cichlidés	<u>Paretroplus kieneri</u>
Cichlidés	<u>Paretroplus petiti</u>
Cichlidés	<u>Paratilapia polleni</u>
Gobiidés	<u>Gobius giuris</u>
Eléotridés	<u>Eleotris fusca</u>

Les espèces introduites sont Carassius auratus et Cyprinus carpio, ainsi que Tilapia rendalli, Oreochromis macrochir et O. mossambicus.

10. Autres vertébrés

Les vertébrés autres que les poissons comportent des reptiles des genres Liopholidophis, Sternothaerus, Erymnochilus et Crocodylus niloticus; celui-ci était autrefois très abondant, mais a été pourchassé et se trouve maintenant menacé comme dans beaucoup de régions de Madagascar évoquées dans le présent ouvrage. Il faut signaler une avifaune abondante et diversifiée (36 espèces au minimum).

11. Activités humaines

La région est essentiellement agricole et même rizicole. Les deux agglomérations importantes sont Maevetanana et Ambatoboeni (20 000 hab. environ). La pêche est pratiquée sur la quasi-totalité des plans d'eau avec des engins diversifiés. Il faut signaler une pêche commerciale d'anguilles, malheureusement, sans doute, en voie d'extinction. La production exploitée de la région est d'environ 2000 t par an. Les espèces principales sont Oreochromis spp., Cyprinus carpio et Arius madagascariensis.

9.1.f LACS DU BASSIN DU FLEUVE BEMARIVO

1. Les milieux

Dans son cours inférieur, le fleuve Bemarivo et certains de ses affluents alimentent pendant leurs crues une trentaine de lacs offrant, semble-t-il, de fortes possibilités piscicoles mais n'ayant jamais fait l'objet d'une étude complète. Ces plans d'eau, toujours ceinturés de marais, se comportent, hydrologiquement, comme des plaines d'inondation (fig. 9.9).

L'environnement géologique, pédologique et climatique est voisin de celui du bassin de la Betsiboka, évoqué plus haut.

Parmi cet ensemble de lacs recouvrant au total environ 6000 ha en crue, il faut citer:

Le lac Amparihibe-N	: 820 ha; alt. 33 m (fig. 9.13);
Le lac Tseny	: 641 ha; alt. 53 m (fig. 9.14);
Le lac Antanambalavy	: 293 ha; alt. 49 m;
Le lac Bevary	: 245 ha; alt. 43 m.

Environ 30 autres lacs de plus de 20 ha. avec des marais limitrophes.

La superficie totale du bassin versant du fleuve Bemarivo est de 6500 km².

2. Faune piscicole et pêche

La faune est de tendance nettement dulçaquicole avec prédominance de Tilapia et Oreochromis et de C. carpio, toutes espèces introduites. La production potentielle de cette zone avait été estimée par Vincke (1972) à environ 300 tonnes.

9.1.g COURS INFÉRIEUR DE LA TSIRIBIHINA

1. Géographie et géologie

Le cours inférieur de la Tsiribihina, fleuve de la côte W (superficie totale du bassin versant 49 800 km²; 20°S; 44°30' - 45°30' E) comporte une grande quantité de lacs totalisant 80 km² de superficie en étiage et auxquels s'ajoutent d'importants marais (superficie exacte inconnue) inondés pendant les crues coïncidant avec celles du fleuve. Celui-ci alimente, en fait, ces milieux lacustres pour la plupart formés par d'anciens méandres du cours d'eau et de ses affluents.

Le sous-sol est calcaire et le sol est formé d'alluvions arrachées au bassin versant de la Tsiribihina qui s'étend très loin vers les Hauts Plateaux ce qui induit la présence de particules latéritiques. Le climat est celui décrit pour le lac Ihotry et pour les lacs du bassin de la Betsiboka. Les eaux sont alcalines en étiage (pH 7,1 à 7,4) et acides en crue (pH 6,7) en raison de l'érosion du bassin versant sévissant sur des sols acides en amont de la région étudiée.

Les lacs les plus importants sont les suivants:

Le lac Komanaomby (fig.9.16):	18 km ² ; alt. 4 m;
Le lac Hima (fig.9.17) (semi permanent):	1547 km ² ; alt. 5 m;
Le lac Andranomena-N (fig.9.18):	5,54 km ² ; alt. 18 m;
Le lac Andranomena-S:	7,7 km ² ; alt. 17 m;
Le lac Sakiara:	428 km ² ; alt. 12 m;
Le lac Iboboka:	3 km ² ; alt. 6 m,

et environ 20 autres lacs de plus de 20 ha (Kiener 1963).

2. Pêche

Au point de vue piscicole, ce système fluvio-lacustre passe pour le

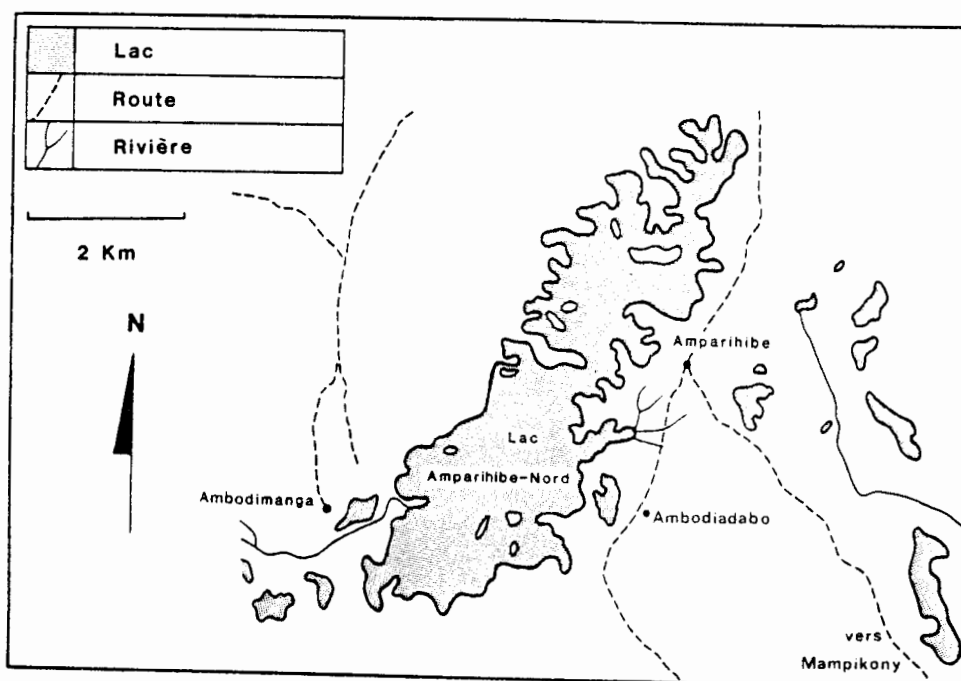


Fig. 9.13 Lac Amparihibe-Nord (9.1.f.A)

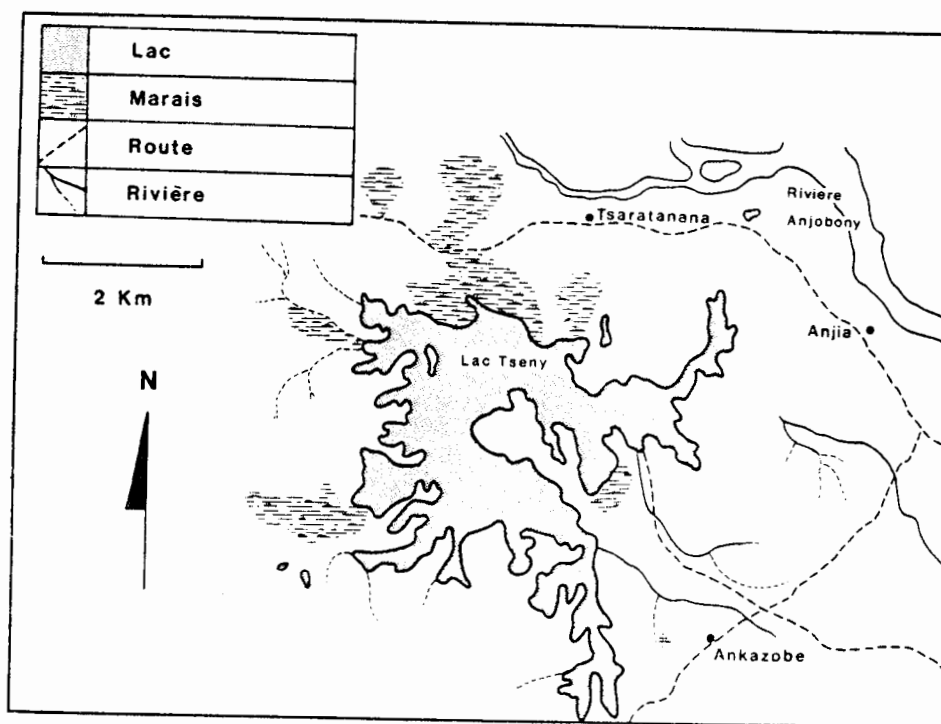


Fig. 9.14 Lac Tseny (9.1.f.B)

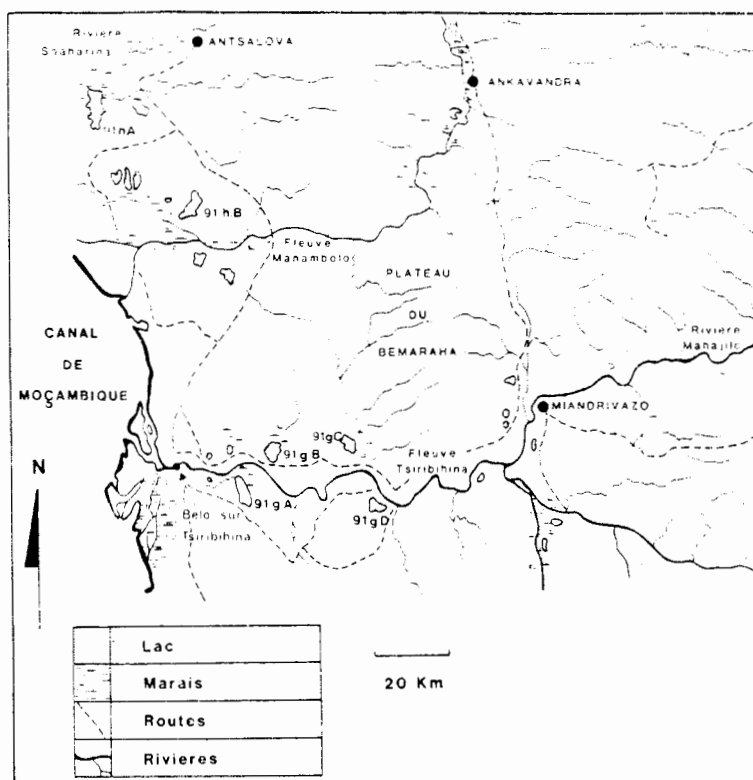


Fig. 9.15 Cours inférieur de la Tsiribihina (9.1.g), et des fleuves Soahanina et Manambolo (9.1.h): 9.1.g.A Lac Komanaomby, 9.1.g.B Lac Hima, 9.1.g.C Lac Andranomena-Nord, 9.1.g.D Lac Andranomena-Sud; 9.1.h.A Lac Benamba-Ouest, 9.1.h.B Lac Antosohlaly-Fenoanivo.

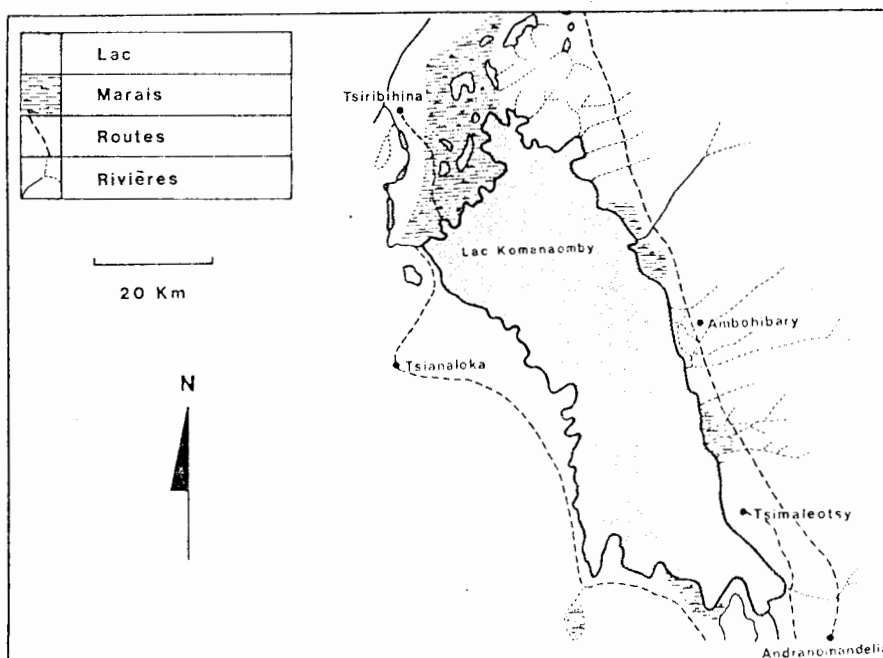


Fig. 9.16 Lac Komanaomby (9.1.g.A)

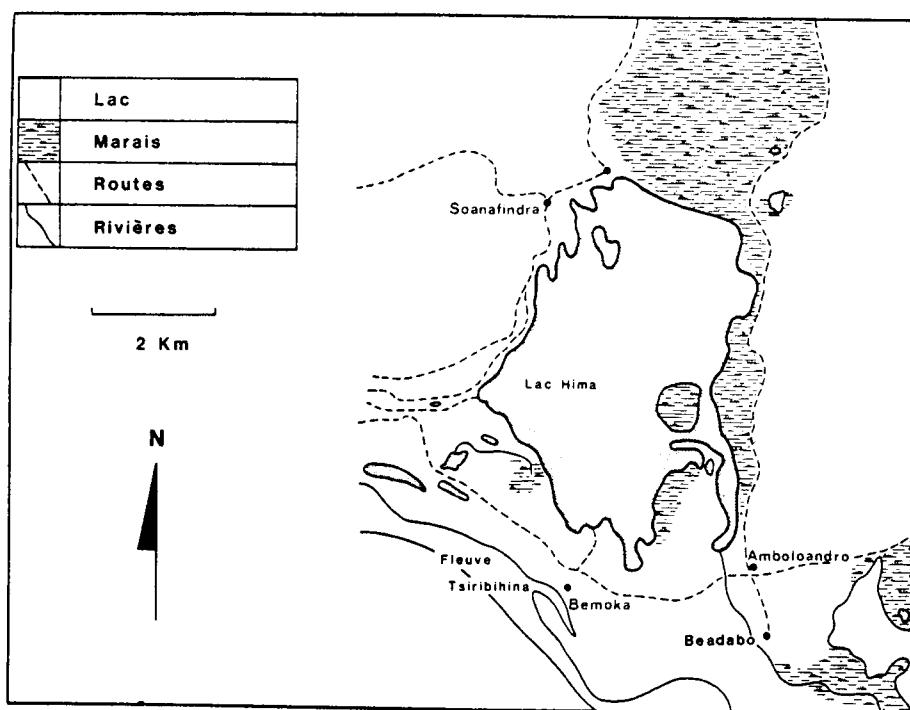


Fig. 9.17 Lac Hima (9.1.g.B)

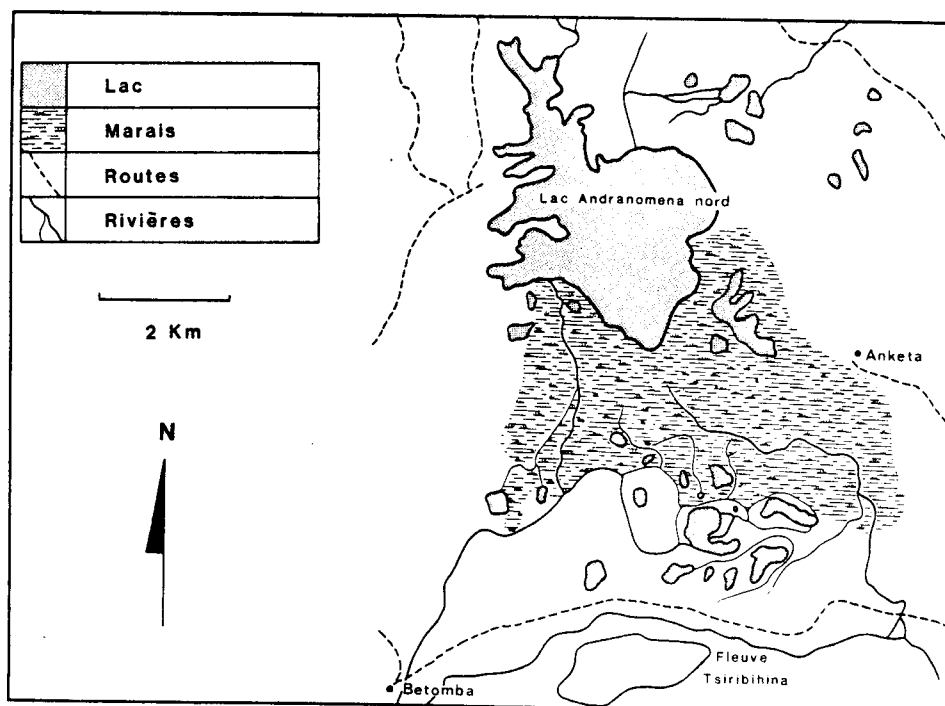


Fig. 9.18 Lac Andranomena-Nord (9.1.g.C)

plus poissonneux de tout Madagascar; il est peu exploité car la commercialisation est difficile en raison du mauvais état du réseau routier. Les espèces sont celles mentionnées dans le bassin de la Betsiboka. Il faut signaler une grande production de grosses carpes Cyprinus carpio, espèce introduite, ici comme ailleurs, à Madagascar.

9.1.h COURS INFÉRIEUR DES FLEUVES SOAHANINA ET MANAMBOLO (figure 9.15)

1. Géographie

Il s'agit de deux fleuves proches de la ville de Antsalova, à 100 km au N de la Tsiribihina. Système fluvio-lacustre de caractéristiques voisines de celui étudié ci-dessus. Il comporte environ 30 lacs plats recouvrant en étiage 70 km². Les lacs les plus importants sont les suivants:

Le lac Benamba-W (fig. 9.19)	: 15,86 km ² ; alt. 2 m;
Le lac Antsohaly-Fenoarivo	: 9,32 km ² ; alt. 15 m;
Le lac Masiadolo	: 7,20 km ² ; alt. 5 m;
Le lac Soamalipo	: 4,86 km ² ; alt. 18 m;
Le lac de Jamo	: 3,89 km ² ; alt. 43 m;
Le lac Befotaka	: 3,86 km ² ; alt. 30 m;
Le lac Masama	: 3,85 km ² ; alt. 13 m;
Le lac Ankerika	: 3,09 km ² ; alt. 8 m;
Le lac Sariaka	: 2,45 km ² ; alt. 17 m.

La superficie totale du bassin versant est de 14 200 km².

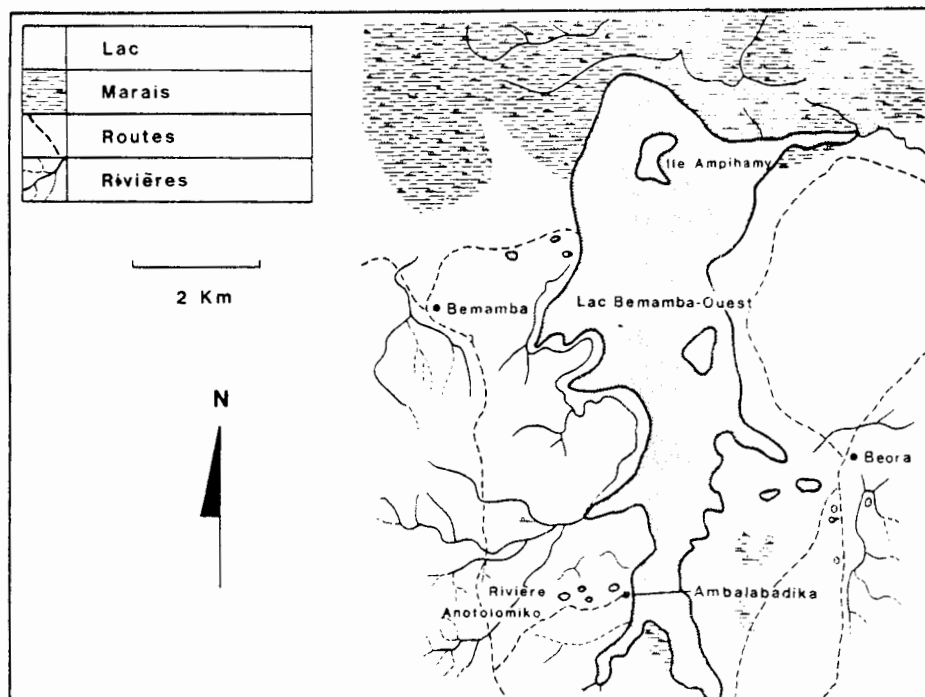


Fig. 9.19 Lac Bemamba (9.1.h.B)

2. Climat

Amw₇a (Köppen)

2 saisons principales: saison sèche chaude, saison pluvieuse chaude

Insolation:

Moy. ann.: 3500-3550 h.année⁻¹

Max. en novembre (env. 380 h), min. en février (env. 250 h)

Pluviométrie:

Moy. ann. 1100 mm

Max. en janvier (env. 250 mm) et février (env. 220 mm)

Durée moy. de la saison sèche: 280 jours

Evaporation:

Evapotranspiration potentielle gazon: moy. ann. 1090 mm

Evapotranspiration réelle gazon: moy. ann. 1150 mm

Température de l'air:

Moy. ann. 25,2°C

Max. en janvier (moy. vraie env. 28°C; moy. max. journ. 32°C; moy. min. journ. 24°C)

Min. en juillet (moy. vraie env. 21°C; moy. max. journ. 28,3°C; moy. min. journ. 18,5°C)

Le climat de cette région, très chaud, rappelle celui du bassin du lac Ihotry.

9.1.1 LACS PEU PROFONDS ISOLÉS

a) Le lac Tsimanampetsoa (24° S; 43°45' E) (fig. 9.20)

Lac plat isolé entre deux cordons dunaires parallèles à la côte W de l'île, au S de la ville de Tuléar. Sous-sol calcaire; climat tropical avec saison sèche (avril à novembre) et humide (décembre à mars) et température de l'air toujours élevée: 25 à 40°C.

Superficie: 16 km² en étiage (novembre) et 29 km² en crue (mars) altitude: 38 m. Profondeur maximale en étiage: 2 m. fond de sable enrichi en sulfate de chaux qui lui donne une couleur blanche prise également par l'eau, en cas de vent, de façon caractéristique. La forte concentration en sulfate de chaux interdit la vie piscicole (Kiener 1978). Lac très riche, en revanche, en mollusques, servant de nourriture à une forte colonie de flamants roses: Phoeniconaias minor. Le lac est endoréique.

b) Le lac Mandrozo

Système de trois lacs en communication, au moins en crue, et de marais et étangs; accès difficile. Ces plans d'eau n'ayant donc fait l'objet

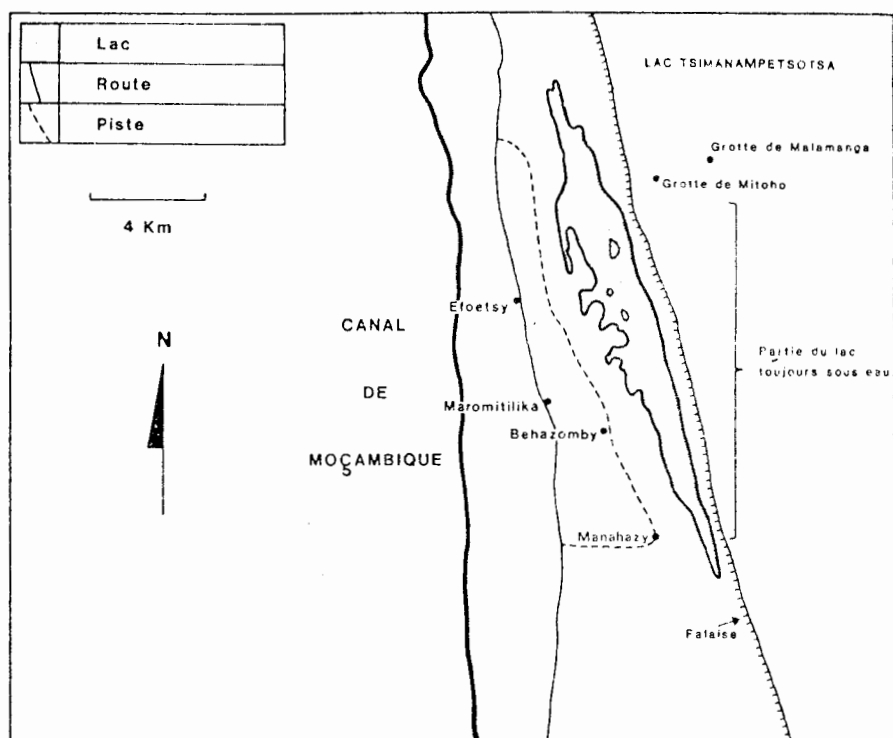


Fig. 9.20 Lac Tsimanampetsotsa (9.1.i.A)

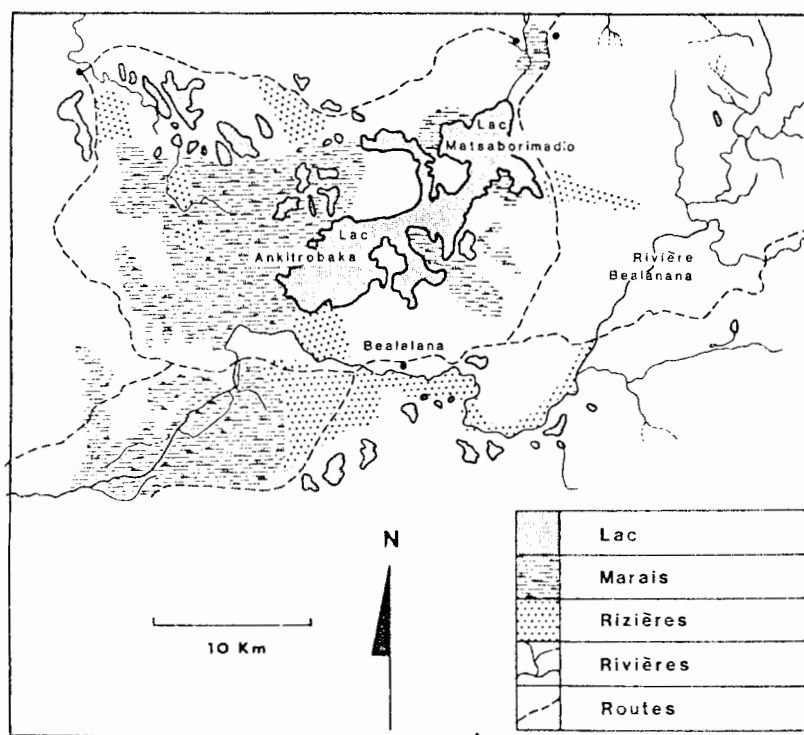


Fig. 9.21 Lac Ankilrobaka (9.1.i.C)

d'aucune observation limnologique ou ichtyologique. Superficie: 14,7 km²; altitude: 6 m; fonctionne sûrement comme une plaine d'inondation.

c) Le lac Ankitrobaka (14°30' S; 48°30' E) (fig. 9.21)

Dépression isolée avec plusieurs étangs et marais. Superficie: 7,42 km²; altitude: 1102 m.

d) Le marais Anketraka

Zone non étudiée à ce jour, seulement répertoriée par Kiener (1963). Il s'agirait d'un marais avec une mosaïque d'étangs, isolé semble-t-il de tout système fluvial. Superficie: 124,4 km²; altitude: 1097 m; grosses potentialités piscicoles.

9.2. LES EAUX SAUMATRES

9.2.a. LES LAGUNES ASSOCIEES AU CANAL DES PANGALANES DE TOAMASINA (TAMATAVE) A ANDEVORANTO

1. Géographie et géologie (18 à 20°S; 48°E)

Sur la côte E de Madagascar, entre les villes de Toamasina (Tamatave) et Farafangana, le littoral présente une série de lacs et de lagunes, autrefois isolés les uns des autres mais reliés depuis le début du siècle grâce au creusement d'un canal longeant le littoral marin et appelé localement "canal des Pangalanes" (fig.9.22). L'ensemble de ces plans d'eau recouvre une superficie de 180 km² d'eau libre, auxquels il faut ajouter d'importants marais inondés en crue mais dont la surface n'est pas évaluée avec certitude. Les observations figurant ci-dessous concernent les plans d'eau situés sur la partie N du canal des Pangalanes, sur les 100 premiers kilomètres au S de la ville de Tamatave. La superficie d'eaux dormantes est d'environ 110 km². L'ensemble hydrographique des Pangalanes est dans une plaine côtière étroite: 10 à 15 km de largeur, derrière un cordon littoral qui l'isole de la mer.

2. Géologie

La plaine côtière, d'origine lagunaire, repose sur des terrains anciens : alluvions gréseuses le long de la côte, sables quartziques et affleurements granitiques vers l'intérieur.

3. Pédologie

Différents types de sols peuvent être mis en évidence. Sur le littoral : sols humifères sur sable et sols lessivés sur alluvions fluviales (ceux-ci aux embouchures des fleuves côtiers). Dans la plaine, juste à l'E des lacs et souvent à leur contact : alluvions récentes sur terrains sédimentaires. Sur la limite W de la plaine :

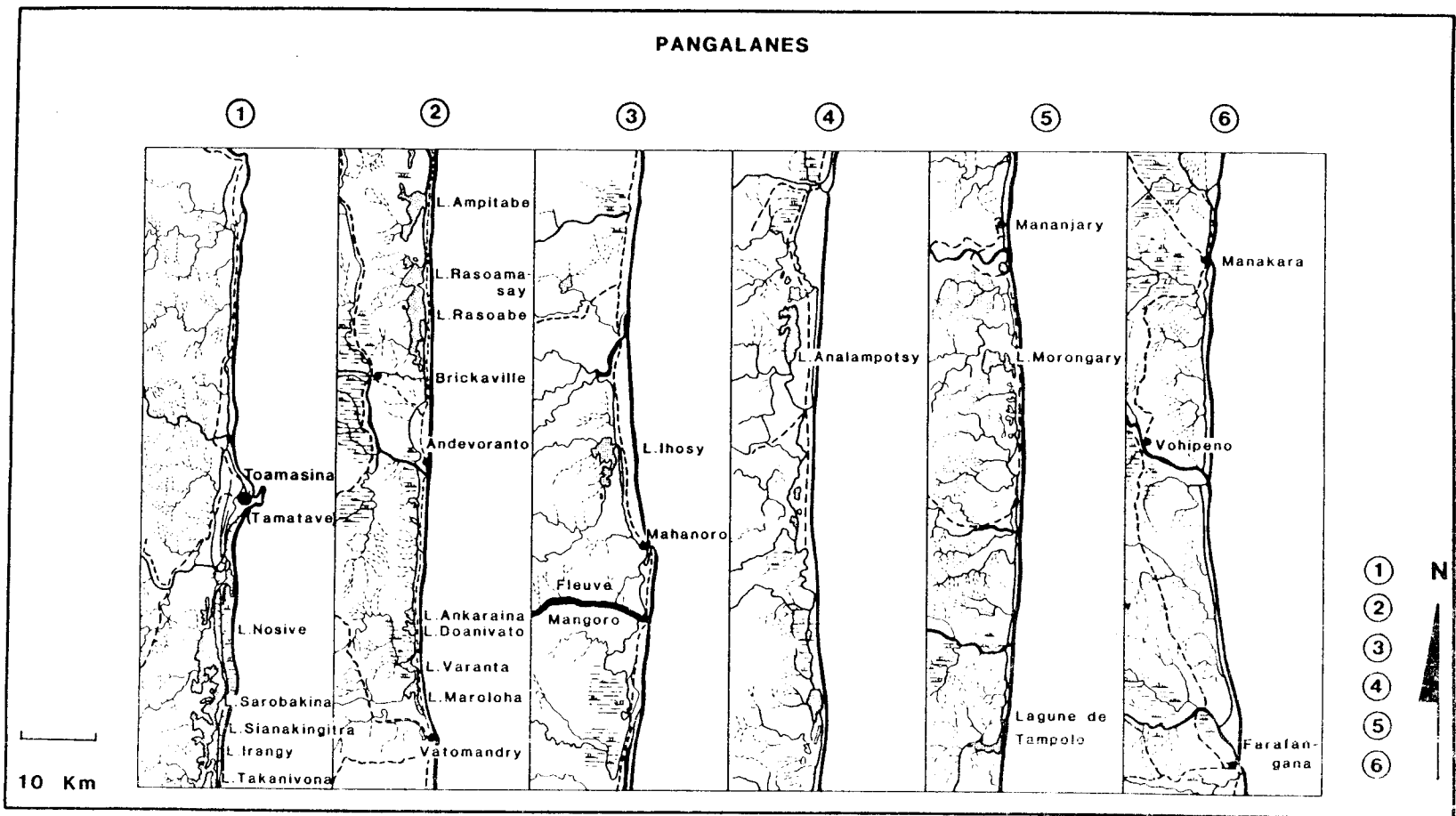


Fig. 9.22 Lagunes associées au canal des Pangalanes (9.2.a. et 9.2.b.)

sols ferrallitiques sur alluvions anciennes. Dans les zones marécageuses et sur le fond de certains plans d'eau: sols hydromorphes.

4. Climat (fig. 9.3)

Afa (Köppen)

2 saisons principales: pluvieuse chaude, fraîche et pluvieuse.

Insolation:

Moy. ann.: 2500-2550 h. année⁻¹

Max. en octobre (env. 280 h), min. en janvier (env. 150 h).

Pluviométrie:

Moy. ann.: 3500 à 3550 mm

Max. en janvier (env. 400 mm) et février (env. 500 mm)

Durée moy. de la saison sèche: pas de mois sec.

Evaporation:

Evapotranspiration potentielle gazon: moy. ann. 1150 mm

Evapotranspiration réelle gazon: moy. ann. 1275 mm.

Température de l'air:

Moy. ann.: 24,1°C

Max. en janvier (moy. vraie env. 26,7°C; moy. max. journ. 30,5°C; moy. min. journ. 23,3°C)

Min. en juillet (moy. vraie 21,8°C; moy. max. journ. 25,5°C; moy. min. journ. 15,5°C).

Le climat de la zone considérée est celui de la côte E de Madagascar tel qu'il a été décrit dans la présentation générale et caractérisé par l'alternance de 4 saisons: 2 sèches et 2 pluvieuses.

La région est caractérisée par une très forte pluviométrie: 2500 à 3500 mm d'eau, tombant en 180 à 240 jours selon l'endroit et l'année.

5. Hydrologie

L'approvisionnement en eau de l'ensemble des plans d'eau a lieu par les pluies et l'eau de drainage des bassins versants; les crues étant très rapides et suivant très rapidement et de façon très marquée les importantes précipitations. Il faut ajouter les apports d'eau dus aux deux fleuves limitant, au N et au S, la zone d'étude: l'Ivondro et le Rianila dont les eaux sont en partie captées par le canal des Pangalanes qui prend alors une coloration ocre caractéristique. La période des hautes eaux va de novembre à avril.

Les lacs étudiés dans cette région sont les suivants, du N au S (figures 9.23 et 9.24):

- Le lac Nosivé: 35,7 km², le plus grand lac de la série; alt. 2 m; très diverticulé et s'étendant en longueur parallèlement à la côte.

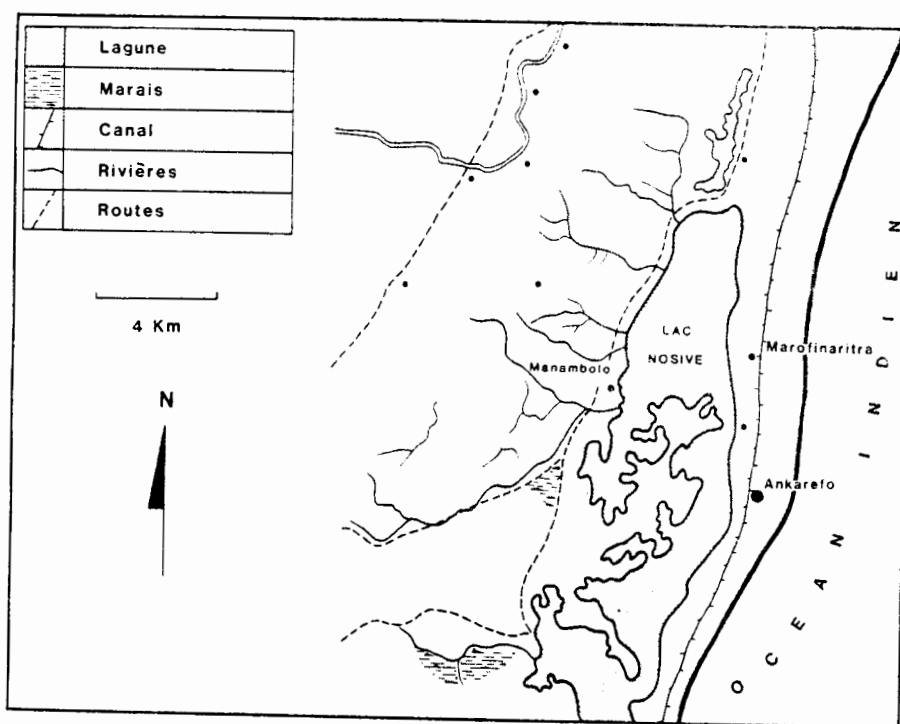


Fig. 9.23 Lac Nosive (9.2.a.A)

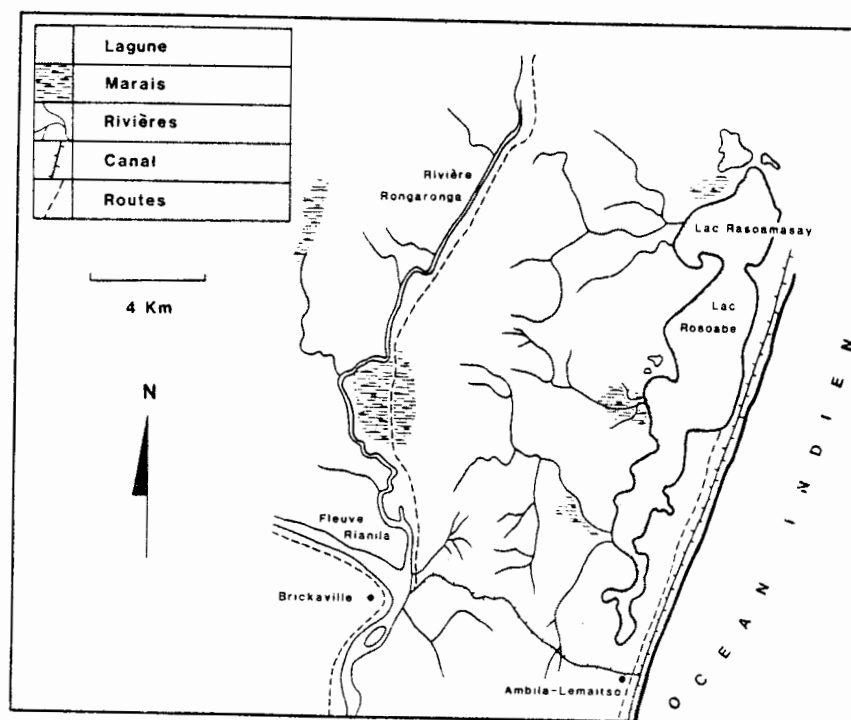


Fig. 9.24 Lac Rasoabe (9.2.a.H)

- Le lac Sarobakina: 8,8 km²; alt. 2 m, communiquant directement avec le précédent par un court passage aménagé par l'homme.

- Les trois lacs Irangy, Takanivona et Antampina: 7,66 km²; alt. 5 m (les deux premiers pourraient être considérés comme un seul lac, car ils sont sur la même rive du chenal, très large dans cette partie des Pangalanes).

- Le lac Ampitambé-Irangy ; 11,5 km²; alt. 5 m;
- Le lac Rasoamasay: 6,36 km²; alt. 6 m;
- Le lac Rasoabé: 20 km²; alt. 4 m.

Il faut ajouter deux lacs de superficie plus modeste, proche des lacs Rasoamasay et Rasoabé: le lac Loakangady (134 ha) et le lac Anjanaborona (87 ha).

Les variations de cote des lacs sont de 1 à 2 m selon les années et les lacs. Les profondeurs les plus souvent observées sont de 3 à 7 m, les maximums (au lac Rasoabé) sont de 12 m.

6. Caractéristiques physiques et chimiques

L'étude la plus complète de ces plans d'eau est celle de Moulherat et Vincke (1968) comportant huit stations de prélèvement d'eau réparties dans ces différents lacs et visitées mensuellement pendant 14 mois.

Les eaux sont caractérisées par leur grande clarté; dans 50% des cas, le disque de Secchi était visible, une fois posé sur le fond.

La température de l'eau subit des variations saisonnières nettes en relation avec celles des températures de l'air. Elle est comprise entre 23°C (juillet) et 32°C (novembre). Les eaux sont légèrement acides; le pH variant de 6,5 à 7. La conductivité est élevée mais la chlorinité (teneur en NaCl) faible: 0,5 à 2,5 g/l: les lagunes reliées par le canal des Pangalanes sont donc pratiquement des lacs d'eau douce. Les caractéristiques physico-chimiques sont résumées au tableau 9.6.

7. Macrophytes

Les végétaux supérieurs les plus abondants sont: Eleocharis plantaginea, Typhonodorum lindleyanum, Cyperus madagascariensis, Cyperus latifolius et Pandanus sp. Plus rarement, on trouve Eichhornia crassipes, Jussiaea sp, Nymphaea sp.

8. Phytoplancton

Le phytoplancton est assez varié. Nous y trouvons une très grande richesse de formes de Diatomées, avec notamment des formes d'eaux saumâtres ou marine très intéressantes: par exemple Plantoniella, Chaetoceros (assez rarement vu), Coscinodiscus, ou Stephanodiscus, Biddulphia, etc. On rencontre aussi Surirella (très fréquent), Tabellaria, Amphora, Amphiprora, Melosira, Girosgyga, Fragilaria, Nitzschia, Bacillaria, Frustulia, Synedra, et bien d'autres genres. On

Tableau 9.6 Synthèse des analyses physico-chimiques d'après Moulherat et Vincke (1968) (concerne la moyenne annuelle calculée sur 12 mois)

SECTEURS (1)	IVONDRO	NOSIVE-N	NOSIVE-S	TAMPINA	AMPITABE	RASOAMASAY	RASOABE	RIANTLA	MER (2)
Turbidité (m) (3)	1.68	4.79	5.46	supérieur au fond prof. inf. 3m		6.32	4.83	1.00	
Salinité (mg/l)	241	455	591	1027	1096	546	405	239	35 000
Résidu sec (mg/l) (4)		505	1176	1467	1882	1100	1622	1243	34 500
Conductivité (10 ⁻⁶ S.cm ⁻¹)	185	1009	1770	2433	3165	1894	1072	2179	50 000
pH	6.7	6.8	6.8	6.9	6.9	6.9	6.8	6.8	7.7
Mat. organiques mil. acide (4)	280	255	468	505	455	255	185	305	
PO ₄ (mg/l)	4	0.8	0.7	0.5	1	10	15		
SO ₄ (mg/l)		entre 0 minimum et 875 mg/l "zones sous influence marine"							2726
Ca (mg/l)		9.40	9.40			13.80	7.20		416
Mg (mg/l)		17.02	27.85			29.49	20.29		1309
Na (mg/l)		140	280			355	180		10 860
K (mg/l)		3	8.40			10	12		
Azote (mg/l) (4)	Néant	Néant	Néant	Néant	Néant	Néant	Néant	Néant	
Plancton (cm ³ /m ³)		15	8	5	8	6	8	5	10

(1) Secteur concernant une ou plusieurs stations regroupées; dans ce cas la moyenne porte sur l'ensemble;

(2) Selon Kiener, 1966; (3) Visibilité du disque de Secchi en m.; (4) Décembre 1966 et décembre 1967

remarque aussi une certaine richesse en Desmidiées (11 espèces répertoriées). Le phytoplancton comporte d'autres Chlorophycées (7 espèces), ainsi que des Cyanophycées (3 espèces).

9. Invertébrés

Le zooplancton et le benthos sont en revanche peu diversifiés. On rencontre généralement parmi les Protozoaires: Arcella, Euglypha, Centropyxis; parmi les Rotifères: Keratella (Anurea) très fréquent, Hexarthra, Polyarthra (très fréquent), Brachionus et plus rarement Colurella, Lecane, Trichocerca et Filinia; parmi les Copépodes: des Calanoïdes, des Harpacticoides et plus rarement des Cyclopides. On trouve très peu de Cladocères et très rarement des Ostracodes.

La zone des Pangalanes présente de nombreuses crevettes des genres Macrobranchium et Metapenaeus et quelques mollusques notamment Pyrasus palustris et Melanoïdes tuberculata.

10. Poissons et pêche

La faune ichthyologique des eaux saumâtres malgaches et principalement celle de la zone des Pangalanes, se caractérise par sa très grande diversité: 61 espèces répertoriées réparties dans 39 familles. Cette ichthyofaune est caractérisée par le pourcentage inhabituellement élevé d'espèces zoophages et ichthyophages qui constituent plus de 60% des captures des pêcheurs (Tableau 9.7).

Une espèce capturée par barrages lors de ses migrations de reproduction, Liza macrolepis, est menacée d'extinction et, d'une façon générale, les Pangalanes souffrent de surexploitation chronique (Lasserre 1979).

On a tenté les introductions des espèces suivantes: Osphronemus goramy (succès), Cyprinus carpio (échec), Tilapia rendalli et Oreochromis mossambicus (succès), Oreochromis macrochir (échec), enfin Heteroptis niloticus (succès dans certaines zones).

La production actuelle (45 t soit 8 kg/ha/an) est très faible par rapport à celle enregistrée en 1967 (34 kg/ha/an).

11. Autres vertébrés

On a signalé quelques reptiles: Acratophis madagascariensis, Liotherodon madagascariensis, Ithyciphus miniatus et Crocodylus niloticus devenu très rare.

Les principaux oiseaux sont: Sarkidiornis melanotus, Dendrocygna viduata, Bulbucus ibis, Melanophloix ardiesaca, Scopus umbretta, Corythornis cristata, Milvus migrans, Merops superciliosus.

Tableau 9.7: Régime alimentaire des principales espèces des Pangalanes, importance dans les pêches.

Régime alimentaire	Espèces	%
1. Régime phytophage		
Macrophytophage	<u>Tilapia rendalli</u>	8.39
Microphytophage	<u>Oreochromis mossambicus</u>	3.62
Phyto-planctonophage	<u>Scalophagus tetracanthus</u>	0.52
		<u>12.53</u>
2. Régime planctonophage	<u>Oreochromis macrochir</u>	0.13
3. Régime sarcophage		
Ichtyophage	<u>Caranx melampygus</u>	31.77
	<u>Chorinemus tolooparah</u>	0.26
	<u>Ambassis commersoni</u>	
	et <u>A. kposi</u>	8.65
	<u>Kuhlia rupestris</u>	0.39
	<u>Therapon jarbua</u>	0.39
	<u>Glossogobius giuris</u>	6.20
	<u>Leiognathus equulus</u>	2.07
	<u>Gerres oyena</u>	1.03
	<u>Gerres punctatus</u>	0.78
	<u>Monodactylus argenteus</u>	0.52
		<u>52.06</u>
Entomophage		-
Malacophage		-
4. Régime omnivore		
Omnivore-planctono-entomophage	<u>Paretroplus polyactis</u>	3.88
Omnivore-sarco-entomophage	<u>Ptychochromis oligacanthus</u>	25.30
Omnivore-pélophage	<u>Mugil robustus</u> et <u>M. oeur</u>	4.14
Omnivore-pélophage-malacophage	<u>Liza macrolepis</u>	0.65
Omnivore-sarcophage	<u>Arius africanus</u> et	
	<u>Ancharius fuscus</u>	0.65
		<u>34.62</u>
Divers		0.66
		<u>100.00</u>

12. Activités humaines

En dehors de la pêche (voir ci-dessus) et d'une agriculture de subsistance, il faut citer une petite production de canne à sucre et de petites industries dans les villes de Toamasina (Tamatave) et Brickaville. Le tourisme sur les lagunes est également pratiqué à très petite échelle.

9.2.b. LAGUNES ASSOCIEES AU CANAL DES PANGALANES, ENTRE ANDEVORANTO ET FARAFANGANA

Les lagunes évoquées ci-dessous (20° - 22°40' S; 48°30' E) ont beaucoup de points communs avec celles immédiatement situées au S de Tamatave: géologie, pédologie, climat, faune piscicole, mais on ne dispose pour elles que de renseignements épars et incomplets; la superficie de certaines est même inconnue (figure 9.22).

Du N au S, il faut citer:

- Les lacs Ankaraina et Doanativo: 2,26 km²; alt. 6 m, limitrophes d'un important marais sur leurs rives W.
- Les lacs Varanta et Maroloha: 3 km²; alt. 25 m. Vu leur altitude, ces lacs sont indépendants du canal des Pangalanes. Ils sont également entourés de marais. Ils sont immédiatement au S des précédents et proches de l'agglomération de Vatondry.
- La lagune Andranobé: 2,9 km²; alt. 1 m.
- La lagune Ihosy: 11,9 km²; alt. 1 m. Zones marécageuses au N; eau très peu salée car la communication avec la mer est à 20 km (fig. 9.25).
- Le lac Analampotsy: 11 km²; alt. 4 m, au N de Nosy Varika (fig. 9.26).
- Le lac Ambavalontaka: 3,86 km² au S de Mananjary; lagune très salée.
- Les lagunes Morangary et Rangazavaka sont signalées sur certaines cartes (près de Mananjary), mais ne figurent pas sur le relevé général de Kiener (1963).
- Les lagunes associées Bevola (2,56 km²) et Tampolo (5,17 km²) sur le canal des Pangalanes, au N de Manakara.

Profondeur maximale: 8 m, fond sableux sur la moitié de la superficie; marais à l'W, contigus à une zone de fonds vaseux, eaux très claires sauf en période de crue (le fond est normalement visible sur toute la superficie lors de survols par avion).

Faune euryhaline mais présence de gros Oreochromis niloticus et Tilapia rendalli.

Conditions physico-chimiques: température de l'eau: 23 à 32°C (pH = 6,9 à 7,5); alcalinité = 0,4 à 0,5; traces de nitrates, ammoniacque et nitrites, présence de fer en période de crue (10 à 20 mg/l) et de phosphates (0,3 à 0,8 mg/l P₂O₅). Variations de la salinité inconnues.

Plusieurs estimations de la production piscicole potentielle ont été réalisées et la situent autour de 150 t par an.

9.2.c. LAGUNES PROCHES DE TAOLANARO (FORT-DAUPHIN, FERADOFAY)

1. Géographie (figure 9.27)

Situation: 25-25°10'S; 46-47°E). Taolanaro, au SE de Madagascar, est entouré d'un certain nombre de lagunes assurant l'approvisionnement de la ville en poisson marin bien qu'elles soient, dans l'ensemble, peu pêchées. L'ensemble recouvre 25 km², auxquels s'ajoute la lagune ou lac Anony plus éloigné, mais maintenant coupé pratiquement tout le temps de la mer par un important cordon dunaire.

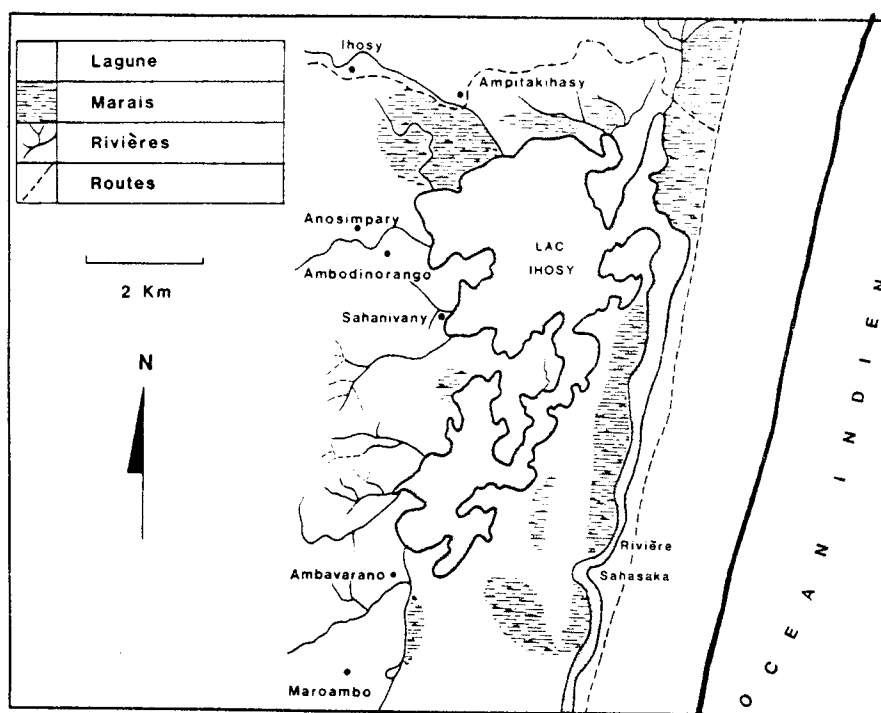


Fig. 9.25 Lac Ihosy (9.2.b)

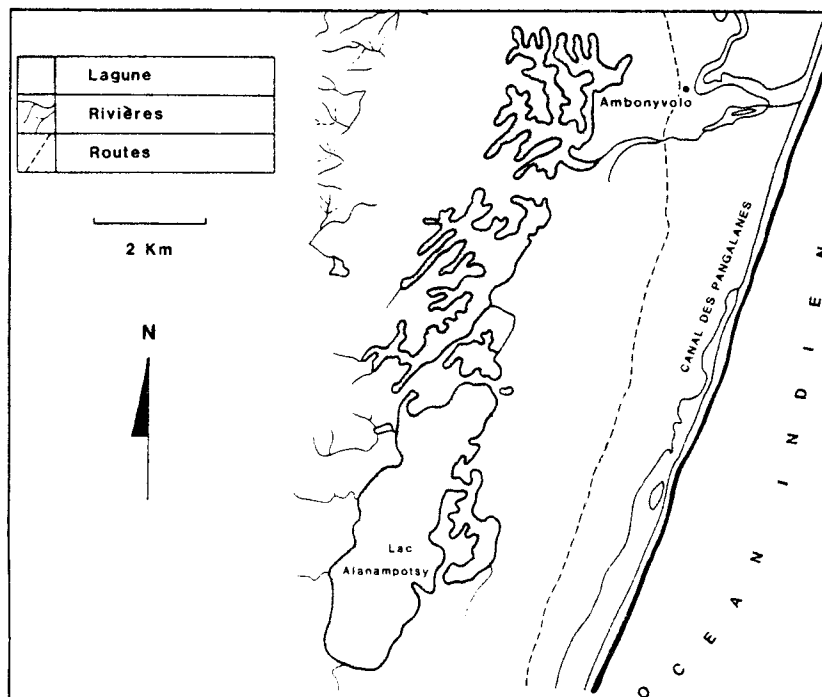


Fig. 9.26 Lac Alanampotsy (9.2.b)

La région de Taolanaro, peu montagneuse sur le littoral, est sur des sols sédimentaires à dominante sableuse.

2. Climat

Afa (Köppen)

2 saisons principales: saison pluvieuse chaude, saison froide humide.

Insolation:

Moy. ann.: 2690 - 2700 h. année⁻¹

Max. en novembre (env. 270 h), min. en février (env. 170 h)

Pluviométrie:

Moy. ann.: 1550 à 1600 mm

Max. en janvier (env. 200 mm) et février (env. 230 mm)

Durée moy. de la saison sèche: pas de mois sans pluie.

Evaporation:

Evapotranspiration potentielle gazon: moy. ann. 1350 mm

Evapotranspiration réelle gazon: moy. ann. 1180 mm.

Température de l'air:

Moy. ann.: 22,8°C

Max. en janvier (moy. vraie env. 25,6°C; moy. max. journ. 29,4°C; moy. min. journ. 22,3°C)

Min. en juillet (moy. vraie 19,8°C; moy. max. journ. 23,7°C; moy. min. journ. 15,9°C).

Le climat est celui de la côte E avec l'alternance des quatre saisons, déjà mentionnée, mais une pluviométrie en fait répartie sur toute l'année sauf septembre et octobre. Il pleut environ 150 jours par an et il tombe en moyenne 1600 mm d'eau. Les températures moyennes de l'air sont comprises entre 16 et 32°C; la saison "fraîche" est très nette (figure 9.3).

3. Hydrologie

Les plans d'eau concernés sont, du N au S:

- La lagune Mananivo (4,43 km²), en communication permanente avec la mer, y débouche près des îles Lokaro, et est alimentée par la rivière Ampamokonambe.
- La lagune Ambavarano (3,3 km²) communique avec la mer par un canal débouchant près du village Evatra (appelé aussi Movatrahaha). La rivière Belavenona s'y déverse par le N, et la rivière Betaikoho la relie à la lagune Lanirano (86 ha), déversoir de la rivière du même nom.

- La lagune Amparihy (20 ha) n'est alimentée par aucune rivière mais elle est entourée d'un important marais qui, semble-t-il, se remplit entièrement d'eau lors des très grandes crues et la met ainsi en contact avec la lagune précédente et avec la mer. Recueillant une partie des déchets et ordures de la ville de Taolanaro, l'eau de cette lagune est sale et elle est inexploitée.
- La lagune Ambinanikely (une dizaine d'hectares) qui est une "eau fady" (où toute pêche est interdite par les moeurs et coutumes) n'a pas d'importance économique.
- La lagune Andriambe (7 km²) s'approvisionne en eau à partir des rivières Efaho, Satra et Antetezambe et demeure en liaison permanente avec la mer.
- Les lagunes Andranasy (2,5 km²) et Andratoloharano (81 ha) sont entourées d'un grand marécage inondé en saison de pluies. Elles communiquent entre elles par une courte rivière et une autre relie les lagunes Andranasy et Andriambe. Communication épisodique avec la mer.
- La lagune Ranofotsy (4,6 km²) débouche dans la baie d'Ankobanalabe et est alimentée par la rivière Mananpanja. Le fond est tapissé de sédiments calcaires donnant à l'eau une couleur blanche caractéristique.
- Le lac Anony (23 km²) isolé de la mer comme dit plus haut.

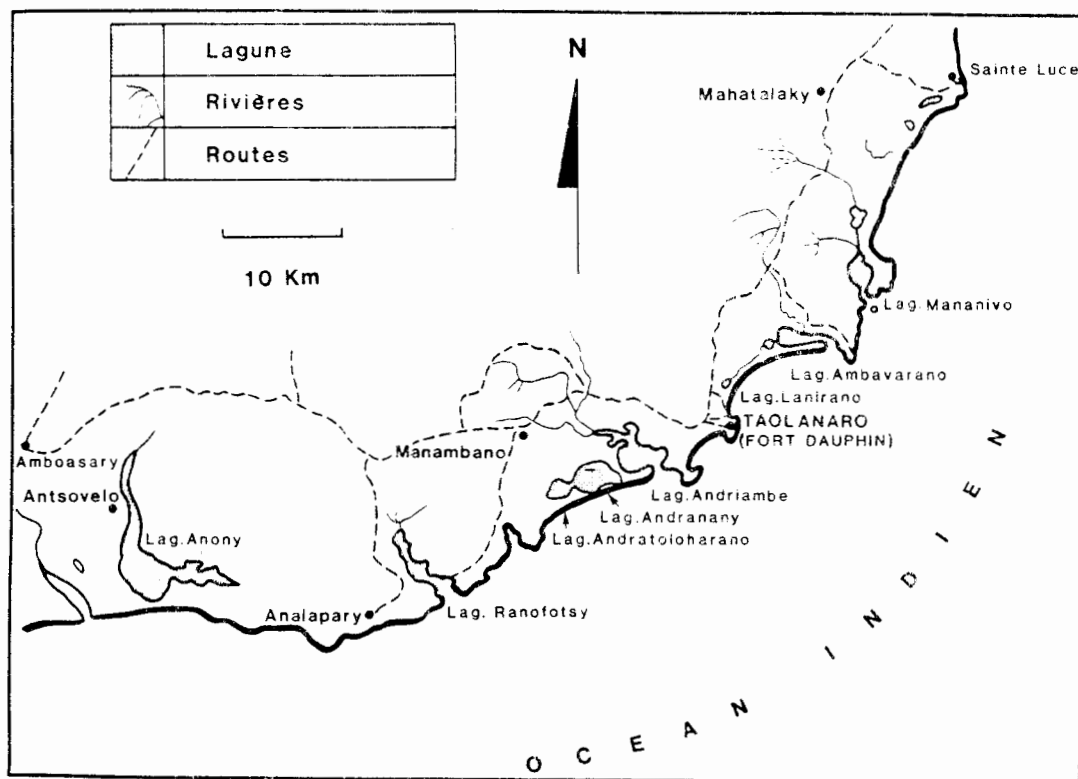


Fig. 9.27 Lagunes proches de Taolanaro (Fort Dauphin) (9.2.c)

La profondeur maximale est de 5 m mais le plus souvent elle est de 1 à 3 m. Le fond est sableux, exceptionnellement vaseux. Les lagunes sont caractérisées par leur faible turbidité par temps calme: leur fond est visible par survol.

4. Caractéristiques physico-chimiques

Les données physico-chimiques disponibles figurent sur le tableau 9.8.

Tableau 9.8: Données physico-chimiques sur les lagunes de Taolanaro

	pH	Alcali- nité (S.B.V.)	T° en fév.	Conduc- tivité 10^{-6} S.cm ⁻¹	Fer mg/l	P ₂ O ₅ mg/l	NO ₃ mg/l	NH ₄ mg/l	O ₂ % sat.
Mananivo-N	8	1,7	-	66 700	0,5	0,15	0	trace	95
Mananivo-S	8,1	1,6	30°	66 700	0,08	0,12	0		98
Ambavarano	7,8	0,95	31°	40 000	0,05	0,17	0,2	trace	100
Lanirano	8	0,35	27,5°	1 333	1,5	0,12	0	trace	100
Ambinanibe-N	7,9-8,1	1,35	27°	33 300	0,08	0,35	0	trace	97
Ambinanibe-S	8-8,3	1,4	26°	66 700	0,08	0,3	0	trace	95
Ambinanikely	8,2	0,85	-	13 300	0,6	0,25	0,1	trace	100
Ranofotsy-N	8,2	2,1	28°	43 478	-	0,42	0	trace	100
Ranofotsy-S	8,1	2,1	-	66 700	0,8	10,33	0	trace	98

5. Macrophytes

Parmi les végétaux aquatiques littoraux, on rencontre surtout Typhonodorum lindleyanum, Pandanus coneretus, Crinum sp. qui forment souvent une couronne périphérique de près de 20 m de largeur (atteignant parfois 50 m). Sur les rives elles-mêmes, on trouve Eleocharis plantaginea, Cyperus latifolius et Phragmites communis. Le bord SW de la lagune de Lanirano est colonisé par le genre Pandanus sp. et au second plan, on rencontre quelques pieds de Ravenala madagascariensis.

6. Invertébrés

On trouve des invertébrés à importance économique directe: crevettes, langoustes et d'autres crustacés de mer.

Les crevettes sont pêchées en quantité abondante surtout pendant les mois de décembre-janvier, commencement de la saison chaude. Leur pêche s'effectue à l'aide de petits paniers en fibres de Cypéracées et reste pratiquement l'apanage des femmes et des enfants.

7. Vertébrés et pêche

Le peuplement piscicole est voisin de celui de la lagune de Masianaka et la reproduction exploitée serait de 60 tonnes y compris des crustacés.

Au lac Anony la production était estimée à 300 tonnes en 1959 chiffre sûrement trop élevé, même si le lac est encore très pêché. Les espèces dominantes sont: Ptichochromis oligocanthus, Caranx melampygus, Mugil spp., Ambassis commersoni, Epinophelus fario et Cerognathus aequula. Sauf le lac Anony, les lagunes de Fort-Dauphin sont sûrement sous exploitées.

Signalons enfin que pendant une partie de la saison chaude (en janvier-février), des colonies de flamants roses (Phoenicoterus ruber antiquorum) et de petits flamants (Phoeniconaias minor) envahissent les rives des lagunes Andranasy et Andratoloharano. Selon les habitants des villages riverains, ces oiseaux consommeraient une quantité non négligeable de poissons chassés sur les faibles profondeurs.

9.2.d. LAGUNES ISOLEES

- a) Lagune de la Loza (14°30' S; 48° E). C'est la seule lagune située sur la côte W de Madagascar et c'est aussi la plus grande (160 km²). Malgré plusieurs projets, aucune étude systématique n'en a été faite. La salinité, très élevée dans l'embouchure vers la mer, appelée localement un "vinany", décroît très vite si l'on remonte vers l'intérieur. Ce plan d'eau abrite une faune euryhaline très diversifiée et un gros stock de crevettes. La production potentielle serait de 2400 tonnes.
- b) Lagune d'Ampahana (14°12'S; 50°10'E). Situé au N de la ville d'Antahala, ce plan d'eau de 3,7 km² a fait l'objet de quelques observations anciennes (fig. 9.28).

Par sa géologie, sa pédologie et son régime hydrologique, il est comparable aux lagunes proches de Tamatave. Les données physico-chimiques disponibles sont les suivantes:

Température de l'eau: 21 à 33°C;
 Extrait sec: 1000 mg/l;
 Conductivité: $1515 \cdot 10^{-6}$ S. cm⁻¹; pH = 6,7;
 Alcalinité (S.B.V.) = 0,15;
 Dureté totale = 16,5 meq/l; Ca = 14 mg/l; Mg = 31,4 mg/l;
 Na = 270 mg/l; SO₄ = 46 mg/l; CO₃ = 25,2 mg/l; Cl = 470 mg/l.

La faune est euryhaline.

La région d'Antahala comporte deux autres lagunes: la lagune Ampasimbato (186 ha; alt. 3 m) et la lagune Belavao (235 ha; alt. 2m).

- c) Lagune de Tampolo-Fénérive-Est (17°20' S; 49°30' E). Située au N de la ville de Fénérive, cette lagune a été étudiée par Kiener (1963); elle recouvre 137 ha (fig. 9.29).

Température de l'eau: 22 à 31°C.

Extrait sec: 60 mg/l.

Mat. organ. (milieu acide): 15,6 mg/l; mat. organ. (milieu alcalin) : 14,5 mg/l. pH = 6,2; Alcalinité (S.B.V.) = 0,15;

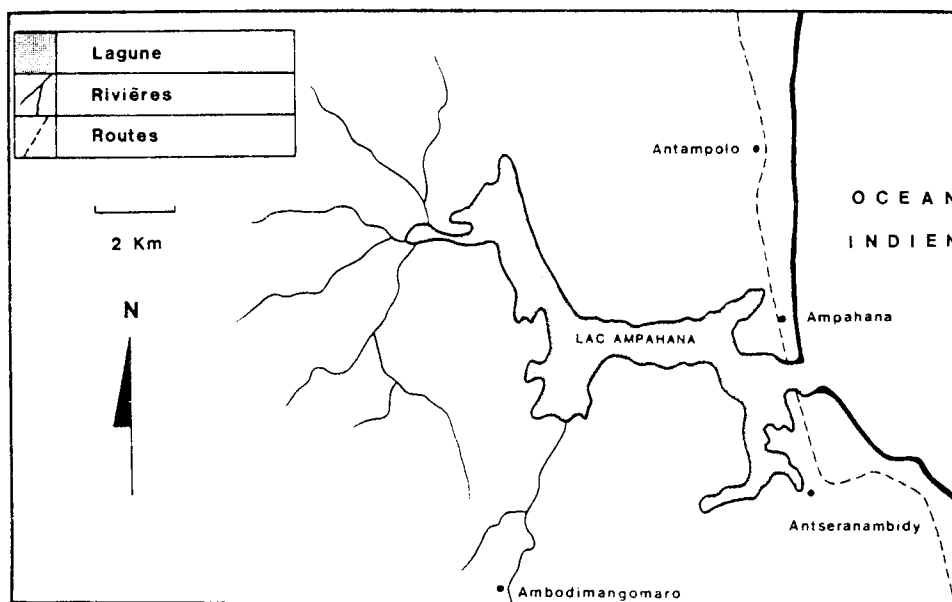


Fig. 9.28 Lac Ampahana (9.2.d.B)

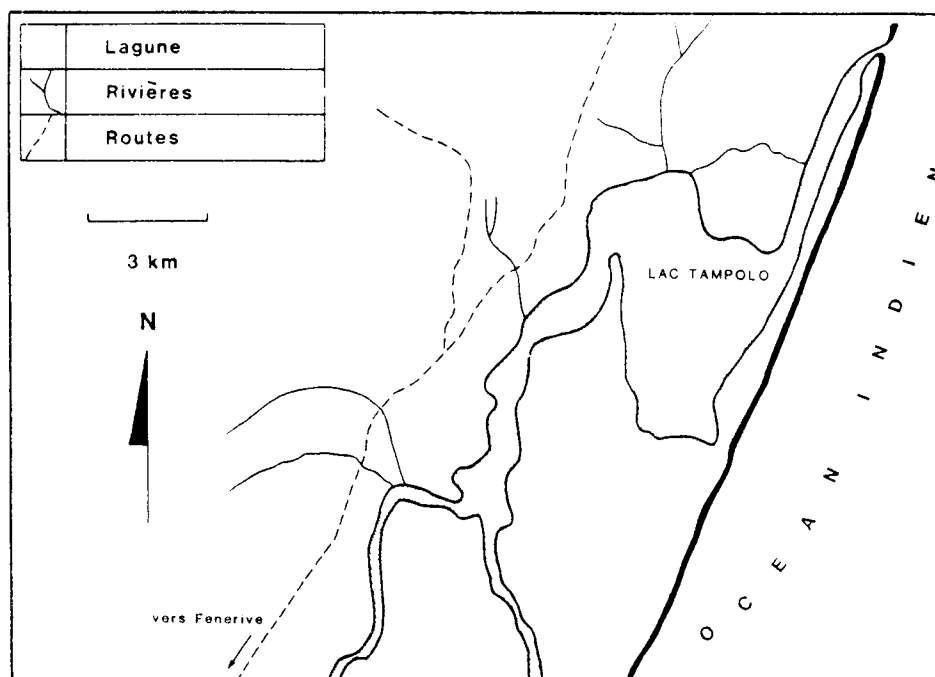


Fig. 9.29 Lac Tampo (9.2.d.C)

Dureté totale = 1,45 meq/l.

Faune euryhaline.

d) Lagune de Masianaka (fig. 9.30)

1. Situation

(23°30' S, 47°30' E). Au S de Farafangana, lagune d'env. 13,5 km², bordée à l'W par un grand marais (environ 30 km²), communication pratiquement permanente avec la mer, (profondeur moyenne: 2,5 à 4 m selon la saison).

2. Climat

Voir le diagramme établi pour la Station forestière d'Ivakoina;
Afa (Köppen)

2 saisons principales: saison fraîche pluvieuse, saison pluvieuse chaude.

Insolation:

Moy. ann.: 2550-2600 h. année⁻¹

Max. en novembre (env. 290 h), min. en février (env. 160 h)

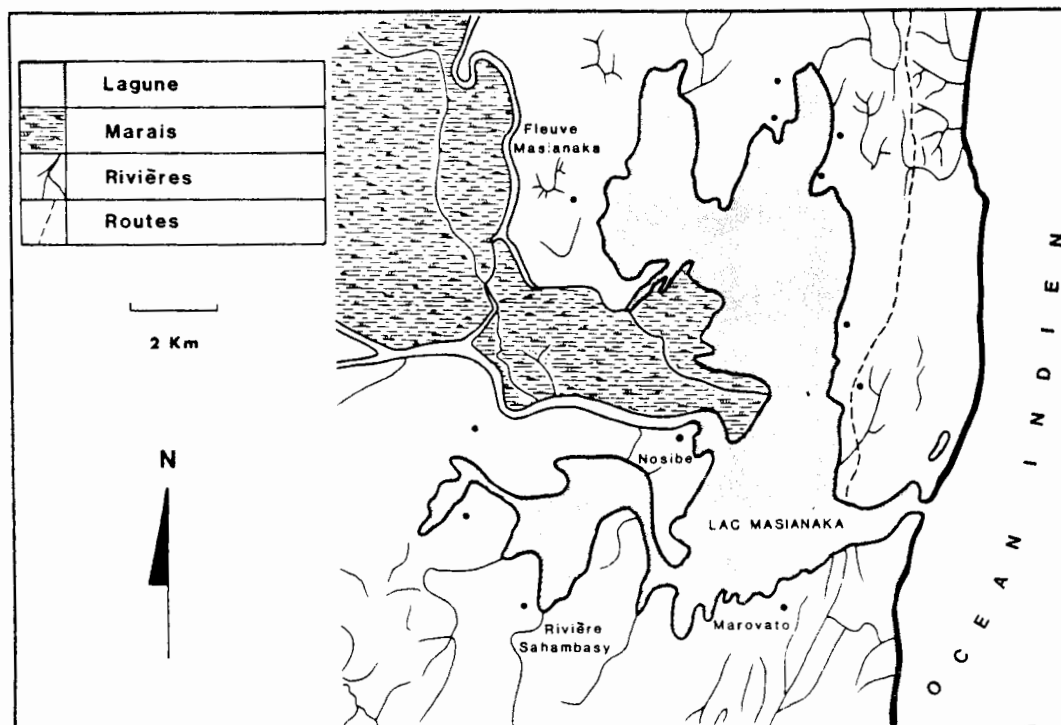


Fig. 9.30 Lac Masianaka (9.2.d.D)

Pluviométrie:

Moy. ann. 2400 à 2450 mm

Max. en janvier (env. 300 mm) et février (env. 350 mm)

Durée moy. de la saison sèche: pas de mois sec.

Evaporation:

Evapotranspiration potentielle gazon: moy. ann. 1180 mm

Evapotranspiration réelle gazon: moy. ann. 1150 mm.

Température de l'air:

Moy. ann.: 22,8°C

Max. en novembre (moy. vraie env. 25,7°C; moy. max. journ. 30,2°C;

moy. min. journ. 18°C)

Min. en juillet (moy. vraie 19,6°C; moy. max. journ. 26,2°C;

moy. min. journ. 11°C).

3. Caractéristiques physico-chimiques

Eau le plus souvent trouble à cause des crues des tributaires (disque de Secchi disparaissant entre 2 et 3 m de profondeur), température de l'eau 23 à 31°C; pH 7 à 7,5; alcalinité (S.B.V.) = 0,2 à 1,2, les valeurs minimales de ces deux paramètres étant observées pendant les fortes crues des tributaires de novembre à février. Traces d'ammoniaque, de nitrates et de fer; présence de phosphates: 1 à 3,5 mg/l (figure ...).

4. Invertébrés

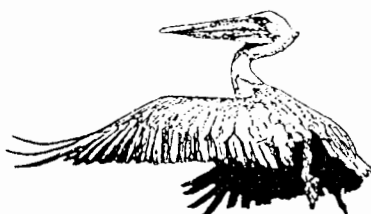
Importante biomasse de crabes apparemment peu exploitée.

5. Poissons

Faune euryaline diversifiée comportant requins et raies (v. tableau 9.9). La production potentielle a été évaluée à 140 t, chiffre vraisemblable.

Tableau 9.9: Liste des espèces rencontrées dans la lagune de Masianaka

Bagridés	<u>Arius madagascariensis</u>
Carangidés	<u>Caranx hyppos</u>
	<u>Gerres oyena</u>
Cichlidés	<u>Paretilapia polleni</u>
	<u>Paretroplus polyactis</u>
	<u>Ptychochromis betsileanus</u>
	<u>Ptychochromis oligocanthus</u>
	<u>Tilapia rendalli</u>
Clupéidés	<u>Anchionella indica</u>
Depranidés	<u>Deprane punctata</u>
Gobidés	<u>Gobius aenofiscus</u>
Hemiramphidés	<u>Hemiramus far</u>
Leognathidés	<u>Ambassis commersoni</u>
	<u>Leognathus equulus</u>
	<u>Therapon jarbua</u>
Lethrinidés	<u>Lethrinus harak</u>
	<u>Lethrinus reticulatus</u>
Monodactylidés	<u>Monodactylus argenteus</u>
	<u>Monodactylus falciformis</u>
Mugilidés	<u>Mugil macropelis</u>
	<u>Mugil oer</u>
	<u>Mugil robustus</u>
Muraenesocidés	<u>Muraenox cinereus</u>
Plathicephalidés	<u>Platycephalus indicus</u>
Polydactylidés	<u>Polydactylus (ou Polynemus) sextarius</u>
Pomadasydés	<u>Rhabdosargus sarba</u>
Sillaginidés	<u>Pomadasys operculare</u>
Syngnathidés	<u>Syngnathus liapis</u>
Tetrodontidés	<u>Chelodon pacota</u>
Selaciens	<u>Dasyatis urnak</u>



ORSTOM Editeur
Dépôt légal : décembre 1987
Impression
ORSTOM BONDY

